

ILMAN PILAREITA PYSTYTETTÄVÄN MELUSEINÄN
KEHITTÄMINEN TERÄSBETONIELEMENTTI-
RAKENTEISENA

Risto Juntunen
2010
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

ILMAN PILAREITA PYSTYTETTÄVÄN MELUSEINÄN
KEHITTÄMINEN TERÄSBETONIELEMENTTI-
RAKENTEISENA

Risto Juntunen
Opinnäytetyö
27.9.2010
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
Rakennustekniikka	Insinööri	61	+	4
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
Rakennetekniikka	27.9.2010			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
Betonimestarit Oy	Risto Juntunen			
Työn nimi				
Ilman pilareita pystytettävän meluseinän kehittäminen teräsbetonielementtirakenteisena				
Avainsanat				
Melueste, Meluseinä, Betonielementti				

Meluesteet ovat rakenteita, joiden tarkoituksena on vähentää liikenteen melusta aiheutuvia haittoja ja melulle altistumista. Meluseinä on yksi kolmesta meluesteen perusvaihtoehdosta, joita ovat lisäksi meluvalli ja melukaide. On olemassa useita meluseinäratkaisuja, jotka perustuvat pilareihin kiinnitettäviin puu-, teräs- tai betonielementteihin. Ilman pilareita pystytettävää meluseinäratkaisua ei vielä ole. Tässä työssä kehitettiin työn tilaajan tuotantoon soveltuva ratkaisu ilman pilareita pystytettävälle teräsbetonielementtirakenteiselle meluseinälle, jossa seinäelementti kiinnitetään suoraan perustukseen.

Kehitettävä meluseinä suunniteltiin Liikenneviraston meluesteiden suunnitteluohjeen mukaan niin, että se täyttää meluesteille asetetut akustiset ja rakenteelliset vaatimukset. Meluseinän ja perustusten rakenteellinen mitoitus tehtiin eurokoodien mukaan.

Kehitystyön tuloksena syntyi meluseinä, jonka runkona toimiva betonielementti pystytetään suoraan perustusten päälle ilman pilareita. Meluseinä rakennetaan 6,0 m:n pituisista elementeistä ja seinän maan yläpuolinen korkeus on maksimissaan 3,8 metriä. Seinäelementtien korkeudet määräytyvät vaaditun melusuojauskorkeuden ja maaston muotojen mukaan. Olennainen osa kehitettyä ratkaisua on perustuselementti. Meluseinän pystyttäminen tapahtuu asentamalla seinä perustuselementissä olevaan hahloon. Maanvaraisena käytettäessä perustuselementtiin mitoitetaan tapauskohtaisesti riittävän kokoinen laatta. Kehitettyä seinäratkaisua voidaan käyttää sekä kantavalla maapohjalla että pehmeiköllä, koska perustuselementtiä voidaan käyttää joko maanvaraisena perustuksena tai ilman laattaosaa putkipaaluperustuksessa.

Degree programme	Thesis	Number of pages + appendices
Civil Engineering	B. Sc	61 + 4
Line	Date	
Structural Engineering	27. September 2010	
Commissioned by	Author	
Betonimestarit Ltd	Risto Juntunen	
Thesis title		
Development of Precast Concrete Noise Barrier Wall Erected without Columns		
Keywords		
Noise barrier, noise wall, precast concrete		

Noise barriers are structures designed to reduce the drawbacks and exposure to noise caused by traffic. A noise wall is one of the three basic options of the noise barrier. The two others are noise protection rail and noise embankment. There are several noise wall systems based on columns with prefabricated wood, steel or concrete elements. However, there are no systems which work without columns. The main goal of this thesis is to develop a precast concrete system to noise wall where the precast concrete wall is directly connected to the precast foundation without using columns.

The noise wall system developed in this thesis is planned according to the noise barrier planning recommendations by Finnish Transport Agency and it meets the acoustic and structural requirements of noise barriers. The structural design of the noise wall and its foundations is made according to Eurocodes.

The result of the development is a noise wall which frame is precast concrete element directly erected on the foundations. The noise wall is erected of precast wall elements which length is 6,0 meters and maximal height 4,6 meters, when the height above the ground is 3,8 meters. The height of wall elements is determined by topography and noise protection height requirements. An important part of the developed noise wall system is the precast foundation element. There is a channel in the foundation element where the wall element is installed. When the noise wall is founded on natural foundation bed a sufficient sized slab must be designed in each case to the foundation element. The noise wall system developed in this thesis is suitable to use both in bearing and soft soil circumstances because the foundation element is suitable to use with pile foundation without a slab in the element.

SISÄLTÖ

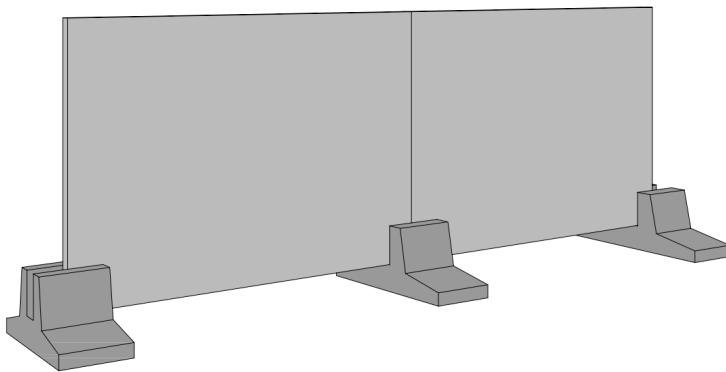
TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
SISÄLTÖ.....	5
1 JOHDANTO	7
2 MELUSUOJARAKENTEET	9
2.1 Melukaide	9
2.2 Meluseinä	10
2.3 Meluvalli.....	10
3 MELUESTEIDEN SUUNNITTELUOHJE	12
4 MELUKAIDSELVITYS	16
4.1 Tiekaiteiden tyyppipiirustukset.....	16
4.2 Kaideuudistus.....	17
4.3 Melukaiteiden estetiikka	18
4.4 Huomioita betonikaiteiden asennustyöstä	20
5 BETONIELEMENTIT MELUESTEISSÄ.....	22
5.1 Betonirakenteisen meluesteen pintavaihtoehdot.....	22
5.1.1 Muottia vasten valetut pinnat	23
5.1.2 Tuoreena käsitelty pinnat	23
5.1.3 Kovettuneena käsitelty pinnat	25
5.1.4 Meluseinän pinnoituskustannuksia	26
5.2 Meluesteiden laatuvaatimukset	27
5.2.1 Akustiset laatuvaatimukset	27
5.2.2 Rakenteen laatuvaatimukset.....	29
5.3 Kuljetus- ja nostokalusto.....	32
6 VALTATEIDEN 4 JA 8 PARANNETTAVAT TIEOSUUDET	34
6.1 Valtatien 4 parantaminen välillä Kempele – Kello.....	34
6.2 Valtatien 8 parantaminen välillä Kotiranta - Stormossen	38
7 ILMAN PILAREITA PYSTYTETTÄVÄ MELUSEINÄ	42
7.1 Maanvarainen laattaperustus	43
7.2 Putkipaaluperustus	45
7.3 Seinäelementti.....	45
8 MELUSEINÄRAKENTEIDEN MITOITUSPERIAATTEET	48

8.1 Kuormat.....	48
8.2 Käyttöikä.....	51
8.3 Murtorajatilamitoitus	51
8.4 Käyttöraajatilamitoitus	53
8.5 Geotekninen mitoitus.....	55
9 YHTEENVETO	58
LÄHTEET.....	60
LIITTEET	62
LIITE 1. Seinäelementin taivutusmomenttijakauma	
LIITE 2. Seinäelementin taipuma	
LIITE 3. Seinäelementin mitta- ja raudituspiirustus	
LIITE 4. Perustuselementin mitta- ja raudituspiirustus	

1 JOHDANTO

Meluesteet ovat rakenteita, joiden tarkoituksena on vähentää liikenteen melusta aiheutuvia haittoja ja melulle altistumista. Melusteilla voi olla muitakin vaikutuksia; esimerkiksi lasten juokseminen tielle estyy ja tieltä leviävän pölyn määrä vähenee. Meluseinä on yksi kolmesta meluesteen perusvaihtoehdosta, joita ovat lisäksi meluvalli ja melukaide. (1, s.15.)

On olemassa useita meluseinäratkaisuja, jotka perustuvat pilareihin kiinnitettäviin puu-, teräs- tai betonielementteihin (2). Ilman pilareita pystytettävää meluseinäratkaisua ei vielä ole. Tässä työssä kehitetään työn tilaajan tuotantoon soveltuva ratkaisu ilman pilareita pystytettävälle teräsbetonielementtirakenteiselle meluseinälle, jossa seinäelementti kiinnitetään suoraan perustukseen. Kuvassa 1 nähdään periaate haettavasta ratkaisusta.



KUVA 1. Havainnekuva kehitettävästä meluseinätyypistä

Kehitettävä meluseinä suunnitellaan Liikenneviraston meluesteiden suunnitteluohjeen mukaan niin, että se täyttää melusteille asetetut akustiset ja rakenteelliset vaatimukset. Meluseinän ja perustusten rakenteellinen mitoitus tehdään eurokoodien mukaan. Kehitettävää meluseinäratkaisua hyödynnetään kahden todellisen kohteen suunnittelussa. Kohteet on esitelty luvussa 6.

Lisäksi työssä käsitellään betonirakenteisen meluesteen pintakäsittelyvaihtoehtoja, joihin esimerkiksi graafinen betoni ja väribetoni tuovat uusia mahdollisuuksia. Liikennevirastolla on tekeillä tiekaideuudistus, joka koskee myös melukaiteita. Asian ajankohtaisuuden vuoksi tässä työssä on tehty melukaideselvitys, jossa käydään läpi uudistuksen vaikutuksia melukaiteiden suunnitteluun sekä tehdään huomioita kaiteiden ulkonäköasioista ja asennustyöstä.

Tämä työ on tehty Betonimestarit Oy:n tilaamana WSP Finland Oy:ssä. Betonimestarit Oy:n puolelta työtä ovat ohjanneet Harri Heinonen ja Olli Juvonen sekä WSP Finland Oy:n puolelta Antti Karjalainen.

2 MELUSUOJARAKENTEET

Melusuojarakenteen tarkoituksena on vaimentaa melua suojattavassa kohteessa. Meluesteet voidaan jakaa toimintansa perusteella kahteen ryhmään: absorboiviin eli ääntä imeviin ja heijastaviin meluesteisiin. Rakenteen perusteella meluesteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään: melukaiteet, meluseinät ja meluvallit. Käytettävän meluesteen valinta riippuu suojattavan alueen luonteesta, tilankäytöstä ja hankkeelle varatusta määrärahasta. (1, s. 20–26, 62.)

Meluesteen valinta heijastavan ja absorboivan välillä riippuu siitä, saako melu heijastua esteestä takaisin melun lähteeseen päin. Jos meluesteen vastakkaisella puolella on myös melulta suojattavia kohteita, heijastava melueste heijastaa melun myös sinne. Tällöin täytyy meluesteen olla absorboiva, ettei kuormiteta entisestään vastakkaista puolta. Jos vastakkaisella puolella ei ole melulta suojattavia kohteita, voidaan käyttää heijastavaa meluestettä. (1, s. 62–63.)

Heijastavan meluesteen pinta on kova ja sen toiminta perustuu siihen, että se katkaisee äänen kulkeutumisen ja heijastaa äänen takaisin lähteeseen tai haluttuun suuntaan. Osa melusta menee seinän yli diffraktoituen (taittuen) samalla esteen taakse. Äänen kulkua voi ohjata sijoittamalla este haluttuun kulmaan tai muotoilemalla esteen pinta siten, että se ohjaa äänen esimerkiksi ylöspäin, jolloin se ei lisää esteen vastakkaisen puolen meluhaittaa. (1, s. 62.)

Tavanomainen melueste heijastaa melua takaisin tielle. **Absorboivan meluesteen** rakenteessa on huokoista ainetta, jolloin melueste imee ääntä itseensä ja heijastaa vain osan äänestä takaisin. Ääntä imevä materiaali voi olla joko rakenteen sisällä tai pinnassa, materiaalista riippuen. (1, s. 62–63.)

2.1 Melukaide

Melukaide on tavallisesti betoninen rakenne, joka toimii samalla meluesteenä ja tiekaiteena. Melukaidetta käytetään lähinnä sillalla ja penkereellä, sekä paikoissa, joissa melueste on sijoitettava lähelle tietä. Kaide sijoitetaan ajoradan viereen, koska melueste suojaa parhaiten sen ollessa mahdollisimman lähellä melun lähdettä tai suojattavaa kohdetta. Melukaiteen korkeus on yleensä 1,0–1,2 metriä tien reunan tasosta. Kaide voidaan rakentaa jopa 1,6 metriä korkeana, mutta

jo yli metrin korkuinen kaide alkaa haitata lumen aurausta kaiteen yli. Korkeilla kaiteilla onkin huolehdittava riittävästä lumitilasta kaiteen vieressä. Kaiteen etäisyys lähimmästä ajokaistasta on enintään 3 metriä. Tämä estää ajoneuvon liian suuren suistumiskulman syntymistä sekä mahdollistaa lumen auraamisen kaiteen yli. (1, s. 26.)

Betoniset melukaiteet ovat lähtökohdiltaan samanmallisia, alhaalta leveitä ja ylöspäin kapenevia. Tämänkaltaisen rakenne on vakaa ja törmäyksen kestävä. Kaiteen kaatuminen törmäyksessä estetään riittävän leveällä pohjalla sekä upotuksella asfalttiin. Kaiteen pohjan on oltava vähintään 0,65 m leveä sekä upotuksen vähintään 50 mm. Kaiteen etupinnan on oltava mahdollisimman tasainen, jotta törmäyksessä ajoneuvo liukuisi kaidetta pitkin, eikä pyörähtäisi ajoradalle. Melukaiteille ei yleensä tehdä erillisiä perustuksia, vaan perustana toimivat tien rakennekerrokset. (3, s.30; 1, s.26.)

2.2 Meluseinä

Meluseinät ovat suhteellisen ohuita meluntorjuntarakenteita, joiden korkeus on tavallisesti vähintään 2 metriä. Meluseinä sijoitetaan etäämmälle tiestä ja niitä käytetään kohteissa, joissa tarvitaan suurta melun vaimennusta ja tilaa on liian vähän muille meluntorjuntaratkaisuille, esimerkiksi meluvallin rakentamiselle. Meluseinän teho perustuu rakenteen tiiveyteen ja suureen pinta-alaan, jota saadaan kasvattamalla seinän korkeutta. Suuren pinta-alan vuoksi seinään kohdistuvat tuulikuormat ja tien läheisyydessä auralumikuormat täytyy huomioida tarkoin suunnitteluvaiheessa. Meluseinille tehdään erilliset perustukset ja käytettyjä perustustapoja ovat maanvarainen laatta, paalutettu laatta, pilariperustus ja putkipaaluperustus. (1, s. 23–24)

Meluseinän rakennusmateriaaleja ovat betoni, teräs ja puu sekä näiden yhdistelmät. Yleisimmin meluseinän rungon muodostavat teräspilareihin ripustetut puu- tai betonielementit, joiden alla on erillinen sokkeli. Meluseinä voidaan toteuttaa myös kokonaan paikalla rakentamalla. Tavallisesti meluseinän tehdään vielä erillinen ulkoverhoilu. (2.)

2.3 Meluvalli

Meluvalli on kustannuksiltaan edullisin melusuojarakenne. Se sitoo melua tehokkaasti, koska maan pinta on luonnostaan hyvin huokoista ja vaihtelevaa. Mikäli meluvalli maisemoidaan oikein,

se sulautuu myös hyvin ympäristöönsä. Yhtenä vallin etuna ovat myös sen vähäiset ilkevaltaongelmat. (1, s. 20.)

Meluvallin haittapuolena on sen vaatima tila. Esimerkiksi jos meluvallin luiskien jyrkkyys on 1:2, kahden metrin korkuisena vallin vaatima tila on jo 8 metriä. Meluvallin vaatima tilaa voidaan pienentää käyttämällä tukimuuria tai kivikoreja osana vallia. Jos vallia ei tilanpuutteen vuoksi voida rakentaa riittävän korkeana, kannattaa rakentaa matalampi valli jonka päälle rakennetaan meluseinä. Tämä on huomattavasti edullisempaa kuin rakentaa este kokonaan seinänä. (1, s. 20.)

3 MELUESTEIDEN SUUNNITTELUOHJE

Liikennevirastolla on tekeillä uusi melusteiden suunnitteluohje *Tien melusteiden suunnittelu* (2009), joka on tällä hetkellä koekäytössä luonnoksena. Tässä työssä tehtävä suunnittelu tehdään uuden ohjeen luonnoksen mukaan. Uusi ohje on koettu tarpeelliseksi, koska nykyinen ohje *Teiden suunnittelu V. Tiehen kuuluvat laitteet 3. Melusteet* on vuodelta 1997, jonka jälkeen on tapahtunut muutoksia materiaaleissa, rakenteissa ja rakentamismääräyksissä sekä uusia tuotteita on tullut markkinoille. On myös otettava huomioon kiristyvät meluntorjuntavaatimukset ja muiden suunnitteluohjeiden melusteita koskevat vaatimukset. Ohjeessa on pyritty siihen, että melusteiden suunnitteluun liittyvät asiat löytyvät nopeasti samasta paikasta. Ohje on voimassa 20.12.2009 lähtien ja siihen on sisällytetty aiemmat ohjeet *Teiden suunnittelu V: Tiehen kuuluvat laitteet 3. Melusteet*, *Puun käyttö melusteissa* ja *Tietoa tiensuunnitteluun 60: Melusteen runkomateriaalin vaikutus kustannuksiin*.

Uusina asioina uuteen ohjeeseen on lisätty melua vähentävät asfalttipäällysteet, melulaskennan laatuvaatimukset, kivikorien käyttö meluseinänä tai vallina, melusteen jännemitan vaikutus kustannuksiin ja meluseinän ominaisuuksien osoittaminen. Tarkistuksia tai laajennuksia on tehty melukaiteen laatuvaatimuksiin, melusteen arkkitehtuuriin, puuhun liittyviin erityiskysymyksiin ja perustusten suunnittelukriteereihin.

Melua vaimentavalla asfalttipäällysteellä voidaan saavuttaa 2–4 dB pienempi melutaso kuin esimerkiksi normaalilla AB16-päällysteellä. Nykyinen ohje käsittelee melua vaimentavia päällysteitä muutamalla rivillä mainiten vaimentavaksi päällysteeksi avoimen päällysteen, joka Tielaitoksen ohjeen *Päällysteiden suunnittelu* (4, s.11) mukaan soveltuu lähinnä kevyen liikenteen väylille. Avoimessa päällysteessä on huokoinen rakenne, joka toimii ääntä vaimentavasti ja on myös vettä läpäisevä. Nykyään käytettävissä päällysteissä melutasoa alennetaan käyttämällä pienempää kiviaineksen raekokoa. Tämänkaltaisen päällyste kuluu hieman nopeammin kuin normaali päällyste, ja siihen tulisikin valita normaalia paremmin kulutusta kestävä materiaali. Vaimentava päällyste soveltuu käytettäväksi yksin tai muun meluntorjuntakeinon lisäksi. Ohjeessa kerrotaan myös päällysteen hiljaisuutta kuvaavan luvun mittausmenetelmistä. (1, s.14; 4, s. 11; 5, s.10.)

Melulaskentaa käytetään akustisessa mitoituksessa ja sen avulla arvioidaan meluesteen pituus, korkeus ja etäisyys suojattavasta kohteesta. **Melulaskennan laatuvaatimuksissa** kerrotaan, mitä melulaskentamallia tulee käyttää melulaskennoissa, mitä lähtötietoja melulaskentaan tarvitaan sekä laskentapisteidien tiheys ja sijoittelu. Melulaskentaohjelmia on kaupallisesti saatavissa ja lisätietoja niistä on julkaisuissa *Ympäristöministeriö 2007: Melutta -hankkeen loppuraportti - Ympäristöministeriön raportteja 20/2007* sekä *Ympäristöministeriö 2005: Ympäristömeludirektiivin täytäntöönpanoon liittyvät laskentamallivertailut – Suomen ympäristö 753*. Laskelmissa käytetään yleensä 20 vuoden päähän ennustettua liikennemäärää ja laskelmien tuloksiin on tehtävä korjaukset, jotka johtuvat esimerkiksi maaston muodoista, tien sivukaltevuudesta ja melua vai-mentavasta tiepäällysteestä. (1, s.16–17.)

Kivikoreja voidaan käyttää meluntorjunnassa meluvallin tai meluseinän tavoin. Niistä voidaan tehdä pystysuoria, kallistettuja tai porrastettuja pintoja sekä latoa muuria. Muurin ääneneristävyy-tyys voi olla arviolta korkeintaan 20 dB, jos muurin paksuus on 1 metri ja kiviaineksen maksimi-raekoko on enintään ¼ muurin paksuudesta. (1, s. 22.)

Meluesteen **runkomateriaalin ja jännemitan vaikutusta kustannuksiin** on tutkittu Tiehallinnon (nykyinen Liikennevirasto) julkaisussa *Tietoa tiensuunnitteluun 60, Meluesteen runkomateriaalin vaikutus kustannuksiin*, joka on sisällytetty uuteen suunnitteluohjeeseen. Kustannuksia arvioita-essa huomioitavia asioita ovat runkomateriaali, perustamistapa, jännemitta ja meluesteen korke-us. Myös arkkitehtoniset seikat, verhoilut ja meluesteen absorboivuus vaikuttavat kustannuksiin. Uudessa ohjeessa on vertailtu perustusten, pilarin ja seinän rungon suhteellista hintaa eri jän-nemitoilla. Edullisimpia vaihtoehtoja ovat jännemitoiltaan kuudesta kymmeneen metriin olevat meluseinät. (1, s. 56.)

Meluseinä voidaan rakentaa tuotteista, joita markkinoidaan erityisesti meluesteisiin. Melueste-tuotteita ovat meluseinäelementti, meluestepilari, meluesteen lisälaite (esimerkiksi ääntä imevä pinnoite) tai kokonainen meluseinä, joka koostuu edellä mainituista tuotteista. Meluestetuotteista rakennetun **meluseinän ominaisuudet** tulee ilmoittaa standardin SFS-EN 12388 mukaisesti ja ne osoitetaan CE-merkin avulla. Tutkittavat ominaisuudet ovat vähintään tuulikuorman kestä-vyys, aerauskuorman kestävyys (jos ei ilmoiteta, ettei kestä), elementin paino, äänen eristävyys ja äänen absorptio (kun väitetään ääntä imeväksi). Näiden lisäksi vaaditaan selvitys akustisten ominaisuuksien säilymisestä ja rakenteen kestävyyydestä, asennusohjeet sekä huolto-ohje. Tie-

hallinnon (nykyinen Liikennevirasto) kohteissa vaaditaan, että vaadittu äänen eristävyys säilyy tuotteen käyttöajan ajan ja vaadittu absorptioluku saavutetaan 15 vuoden ajan. (1, s. 86–87.)

Meluseinä voidaan rakentaa myös tavanomaisista rakennustuotteista, jolloin meluesteen laatuvaatimukset ovat melusteiden suunnitteluohjeen mukaiset. Käytännössä ne ovat samat kuin meluestetuotteilla, mutta suunnittelija selvittää meluseinän eristävyyden esimerkiksi materiaali-paksuuksien perusteella ja laskee kuormien kestävyysnormien perusteella. Äänen absorptio on mitattava, jos ei käytetä valmiita tuotteita joiden äänen imevyys tunnetaan. (1, s. 87.)

Suunnitteluohjeessa esitetään **melukaiteiden laatuvaatimukset**, joita ovat muun muassa perusteet kaiteiden sijoittelulle tien poikkileikkaukseen, yleiset melukaiteen korkeudet ja asiat, jotka täytyy ottaa huomioon korkeutta valittaessa. Melusteita koskevan standardin SFS-EN 1794-2 mukaan yhdistetty kaide ja meluste eli melukaide pitää testata törmäyskokein. Törmäyskokeessa mitoitusaajoneuvo ei saa mennä kaiteesta läpi, eikä kaide saa aiheuttaa vaaraa autossa olijoille. Koska törmäävä ajoneuvo voi siirtää kaidetta, täytyy kaiteen taakse jäädä 0,5 metrin levyinen tasanne suistumisturvallisuuden vuoksi. (1, s. 26–27.)

Melusteiden uudessa suunnitteluohjeessa käsitellään laajasti meluesteen **arkkitehtuuria** ja soveltamista ympäristöön. Käsiteltävät aihealueet ovat arkkitehti- ja ympäristösuunnittelu, meluesteen soveltaminen kaupunkikuvaan ja ympäristöön, melustetyypin ja arkkitehtuurin valintakriteerit, yksityiskohtien merkitys arkkitehtuurissa sekä maiseman ja kasvillisuuden suunnittelu.

Puun käyttöön melusteissa liittyy kyllästysaineiden käyttö puun suojaamiseksi. CCA:ta eli kupari-kromi-arseeni – kyllästysainetta ei voi enää käyttää puun kyllästämiseen. Voimassa oleva arseeniasetus kyllä sallii CCA:ta käytettävän tien laitteiden ja rakenteiden suojaukseen, mutta tuotteen valmistajat eivät ole tehneet kemikaaliasetuksen mukaista selvitystä CCA:n ympäristöturvallisuudesta, joten kyllästämöt eivät saa käyttää CCA:ta. CCA:n käytön on korvannut kupari-kylläste, joka ei ole yhtä tehokasta. (1, s. 80.)

Markkinoille on tullut lämpökäsitelty puu ja jätemuovin ja puupurun seoksesta valmistettava puumuovikomposiitti, joiden ominaisuuksia ja käyttömahdollisuuksia melusteisiin esitellään uudessa ohjeessa. Myös maalaukseen liittyviin ohjeisiin ja vaatimuksiin on lisätty edellä mainittujen materiaalien sekä kyllästetyn puun pintakäsittely. (1, s. 82–85.)

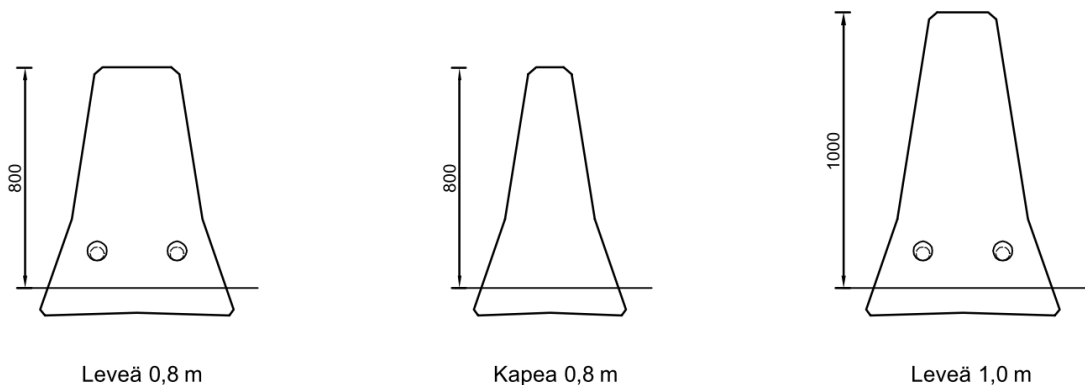
Ohjeessa kerrotut **perustusten laatuvaatimukset** määrittävät, minkä ohjeen mukaan perustukset mitoitetaan riippuen siitä, onko kyseessä maanvarainen laattaperustus, paalutettu laattaperustus, paalu- tai pilariperustus. Perustusten sallittu sijaintipoikkeama määritetään niin, että meluste on mahdollista asentaa oikeaan sijaintiin. Lisäksi määrätään perustusten suunnittelukestoikä, painumaerorajat, betonianturan suunnittelulujuus ja rakenneluokka sekä raudoituksen betonipeitteen vähimmäisarvo. (1, s. 70–71.)

4 MELUKAIDESelvitys

Liikenneviraston mukaan rakennettavien melukaiteiden määrä on suoraan verrannollinen perustienpidon investointeihin. Liikennevirasto ei tilastoi vuosittain rakennettavien kaiteiden määrää, mutta arvioi, että tulevaisuudessa investoinnit tienpitoon vähenevät ja sitä kautta kaiteiden määrät tulevat hieman hiipumaan. (6.)

4.1 Tiekaiteiden tyyppipiirustukset

Liikennevirastolla on valmiita tyyppipiirustuksia betonikaiteille, joita voi käyttää suoraan tai soveltaa melukaiteiden suunnittelussa. Tyyppipiirustukset ovat 0,8 metrin korkuiselle leveälle betonikaiteelle (tyyppipiirustus Ty 3/81), 0,8 metrin korkuiselle kapealle betonikaiteelle (Ty 3/82) ja 1,0 metrin korkuiselle leveälle betonikaiteelle (Ty 3/83) (kuva 2).



KUVA 2. Tyyppipiirustusten mukaisten betonikaiteiden poikkileikkaukset

Matalat, 0,8 metrin korkuiset kaiteet ovat tarkoitettu lähinnä tiekaiteeksi tien ajoratojen väliin. Niitä voi käyttää melukaiteena muusta materiaalista tehdyn korotusosan kanssa. 1 metrin korkuinen kaide on tarkoitettu penkereellä käytettäväksi melukaiteeksi. Betonikaiteista 90 % käytetään melukaiteina. Tämä selittyy sillä, että tiekaiteet rakennetaan lähes poikkeuksetta teräskaiteina (6). Tyyppipiirustuksissa esitetään muun muassa kaiteiden mitat, rauditus, kaiteen aloitus ja lopetus, elementtien liittäminen ja kiinnitys sekä teräsosat. Voimassa olevat tyyppipiirustukset ovat pääosin vuosilta 1991 ja 1994.

4.2 Kaideuudistus

Liikennevirastolla on valmisteilla uusi laatuvaatimus *Tietoa tiensuunnitteluun 61 c, Tiekaiteiden laatuvaatimukset ja kaidetyypin valinta*, jonka astuttua voimaan kaiteiden tyyppipiirustukset lakautetaan. Tämän jälkeen uusien kaiteiden täytyy olla CE-merkittyjä. CE-merkintä on Euroopan yhteisön direktiiveihin perustuva vaatimustenmukaisuusmerkintä. CE-merkinnällä tuotteen valmistaja vakuuttaa, että tuote täyttää kaikkien sitä koskevien direktiivien asettamat vaatimukset. CE-merkinnällä varustettua rakennustuotetta voi Euroopan talousalueella viedä maasta toiseen ja myydä vapaasti. Melukaiteilla CE-merkintään vaaditaan muun muassa kaksi törmäystestiä. (7, s.3; 6.)

Perustellusta syystä voidaan kuitenkin käyttää ilman CE-merkintää olevaa kaidetta. Perusteltu syy on esimerkiksi se, ettei markkinoilla ole CE-merkittyä tuotetta. Tällä hetkellä Suomen markkinoilla on betonimelukaiteista liukuvalettava kaide ja elementtikaide. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että Suomessa ei voi käyttää ilman CE-merkintää olevaa betonista melukaidetta. Suomen markkinoilla ei ole vielä teräsrakenteista melukaidetta, jolla olisi CE-merkintä. Jos on perusteltua käyttää teräksistä melukaidetta betonisen sijaan, voi käyttää kaidetta, jolla ei ole CE-merkintää. (6.)

Betonikaiteiden suositeltavin kaidetyyppi on STEP-kaide. Kaiteen etupinnan alaosassa olevan pystysuoran tai lähes pystysuoran osan tulee olla vähintään 300 mm korkea (voimassa olevan ohjeen mukaan vähintään 200 mm). Jos suora osa on matalampi, tien uudelleen päällystys tai jääkerros voi muuttaa liikaa kaiteen toimintatapaa. Kaiteen etupinnan on oltava mahdollisimman sileä, jotta törmäystilanteessa ajoneuvo liukuisi kaidetta pitkin, eikä pyörähtäisi ajoradalle. (6.) Kuva 3 esittää STEP-muotoista betonikaidetta. STEP viittaa poikkileikkauksen muotoon, jossa on pieni porrastus.



KUVA 3. STEP-muotoinen betonikaide

4.3 Melukaiteiden estetiikka

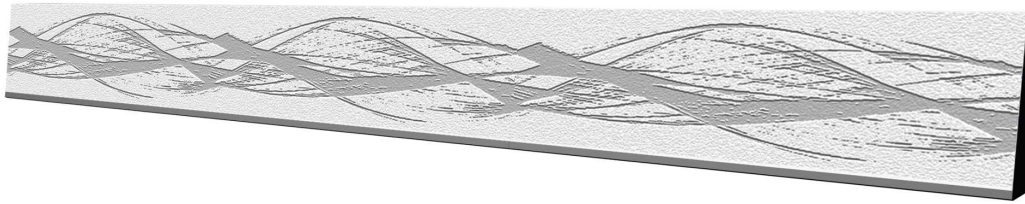
Sileä betonipinta koetaan usein ulkonäöltään tylsäksi. Tiehallinnon (nykyään Liikennevirasto) julkaisun *Tietoa tiensuunnitteluun 61 b* mukaan (8, s.7) betonikaiteen etupintaan sallitaan vain matala uritus tai harjauspinta. Vaakauritus ei ole suositeltava, koska se on herkkä likaantumaan. Lisäksi vaakauritus muodostaa herkästi aaltoilevaa kuvioita, jos sitä ei katkaista välillä pystyaiheella. Ajoneuvon törmäyksen katsotaan ulottuvan kaiteessa 0,8 m:n korkeudelle, joten tämän korkeuden yläpuolella kaiteen pintaa saa muotoilla vapaasti. (6.)

Perinteisenä pintaprofilina kaiteissa on käytetty pystyuritusta. Pystyuritus voi olla välillä hankala, koska urituksen syvyydestä ja leveydestä riippuen urat voivat tietyillä ajonopeuksilla alkaa ”vilistä silmissä”. Yhtenä keinona rikkoa sileää betonipintaa on viime aikoina kokeiltu muutamissa paikoissa pinnan vaakauritusta, jolla muodostuu kuusta muistuttava kaidepoikkileikkaus (kuva 4). Kuusimaisessa profilissa pinnan vaakauritus on tehty siten, että siihen ei jää selkeitä likaa kerääviä kynnyksiä. (9.) Akustiselta kannalta kuusiprofiili myös heijastaa melun useaan suuntaan sileää pintaa paremmin, jolloin tielle takaisin heijastuva melu on pienempi.



KUVA 4. Vaakauritettu melukaide läpinäkyvällä korotusosalla Oulun Raitotiellä (10)

Melukaiteisiin on ulkonäkömielessä mahdollista keksiä uusia vaihtoehtoja esimerkiksi graafisen betonin avulla. Graafinen betoni ja myös pesubetonipinta ovat varteen otettavia vaihtoehtoja, koska näitä menetelmiä käytettäessä kaiteen pinta pysyy suhteellisen sileänä, jolloin se on turvallisempi. Kuvassa 5 on Oulun Poikkimaantielle tuleva melukaide, jonka kuviointi toteutetaan graafisella betonilla.



KUVA 5. Oulun Poikkimaantielle tuleva melukaide (11)

Seuraavat kuvaesimerkit ovat Oulun seudun melukaiteista. Yksinkertaisimmillaan melukaidetta elävöitetään tekemällä uraprofiili kaiteen yläreunaan (kuva 6).



KUVA 6. Melukaide Pohjantiellä

Muita kaiteiden ulkonäön elävöittämismahdollisuuksia ovat esimerkiksi pintaan upotetut laatat (kuva 7) ja erilaiset pinnan profiloinnit (kuva 8).



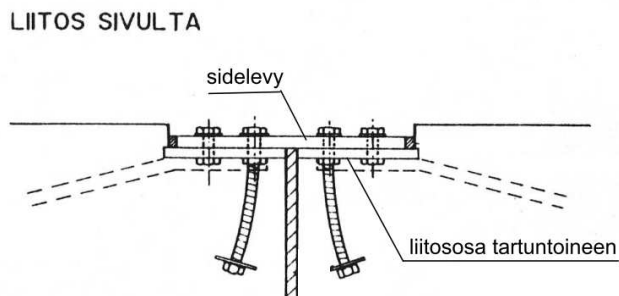
KUVA 7. Melukaide Pohjantiellä ja Kuusamontiellä



KUVA 8. Kempeleen Ketolanperäntien melukaide

4.4 Huomioita betonikaiteiden asennustyöstä

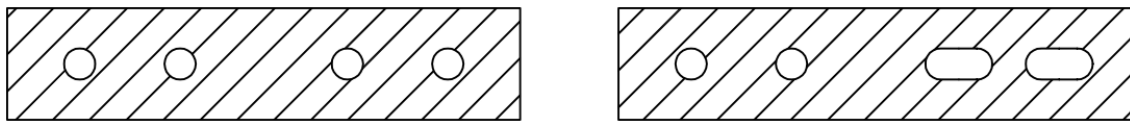
Tämä luku käsittelee erään betonikaiteiden asennusryhmän huomioita kaiteiden asennukseen liittyen. Betoniset melukaide-elementit kiinnitetään toisiinsa sinkityillä teräsosilla (kuva 9). Sillan kaide-elementit kiinnitetään lisäksi sillan reunapalkkiin yleensä kahdella pulttiliitoksella.



KUVA 9. Betonikaiteen liitos

Tien betonikaiteiden tyyppipiirustuksissa esitetään, että kaide-elementti voidaan nostaa elementin reunimmaisesta liitosruuvista tai kiinni ruuvatusta liitoksen sidelevystä. Asennuksen kannalta olisi kuitenkin helpointa, että elementissä olisi erilliset nosto-osat. Elementtiä joudutaan usein teräsosien asennuksen jälkeen hieman nostamaan tai vedättämään oikeaan linjaan, mikä ei välttämättä ole mahdollista teräsosien ruuveista tai sidelevystä nostettaessa. Nosto-osana mieluisin olisi perinteinen nostolenkki nykyisin paljon käytettyjen ankkureiden sijaan. Tällöin elementtien nostajan ei tarvitse huolehtia siitä, että hänellä on kuhunkin nostoankkuriin sopiva nostoelin.

Varsinkin sillan betonikaiteissa elementtien tai teräsosien suunnittelusta tai valmistuksesta johtuvat mittavirheet haittaavat asennusta. Sillan kaiteen asemaa ei pysty työmaalla muuttamaan, koska elementissä on valmistusvaiheessa asennetut teräsosat, jotka sopivat sillan reunapalkkiin asennettuihin pulttiryhmiin. Usein käy niin, että elementin yläreunan liitoksen sidelevy joudutaan vasaroimaan paikalleen tai se ei sovi ollenkaan elementtien pultteihin, joka voi johtua esimerkiksi liitososan väärästä paikasta elementissä tai elementin väärästä pituusmitasta. Tällöin sidelevy joudutaan polttoleikkaamaan ja hitsaamaan sopivaksi työmaalla. Helppo ratkaisu tähän olisi tehdä sidelevyyn asennusvaraa muotoilemalla sidelevyn pulttireiät soikeiksi tai hahlomaisiksi (kuva 10).



KUVA 10. Betonikaiteen liitoksen sidelevy sekä asennusryhmän parannusehdotus

Liitosten asennuksessa mutterien kiristys olisi helpompaa, jos käytettävät mutterit olisivat korkeampia. Mutterien kiristys tehdään käsin tavallisella kiintoavaimella ja korkeasta mutterista saisi luotettavan otteen. Yleensä käytetään matalia muttereita, joista kiintoavain helposti luiskahtaa irti.

Muita elementeissä esiintyviä suunnittelu- tai valmistusvirheitä ovat nosto-osien asennus. Kaideelementin nosto-osan asennus tehdään yleensä uppoasennuksena sille varattuun varauskoloon, joka valetaan asennuksen jälkeen umpeen. Nosto-osa jää tällöin betonin sisään. Joskus käy niin, että nosto-osa on syvennyksestä huolimatta asennettu elementin pinnan tasalle. Kun nosto-osan varauskolo valetaan umpeen, jää nosto-osa pintaan ruostumaan.

5 BETONIELEMENTIT MELUESTEISSÄ

Betoni materiaalina sopii hyvin meluesteisiin sekä infrarakentamiseen yleensä, koska se kestää hyvin kosteutta, säärasituksia, mekaanista kulutusta ja vaihtelevia lämpötiloja. Kivipohjaisena materiaalina betoni on myös kestävä ja vähän huoltoa vaativaa. Betonin etuna on myös sen pitkäaikaiskestävyys. Betonirakenteita suunniteltaessa valitaankin käyttöäksi yleensä vähintään 50 vuotta, mutta rakenteet voidaan suunnitella jopa 200 vuoden käyttöäälle. (12.) Betonirakenteiden melueste täyttää hyvin myös meluesteille asetetut laatuvaatimukset joita ovat muun muassa äänen eristävyys, käyttöikä ja iskunkestävyys. Laatuvaatimuksia on selvitetty luvussa 5.2.

Elementtien käyttö on betonirakentamisessa hyvin yleistä, ja sillä saadaankin aikaan huomattavia etuja. Elementti on tehtaassa valmistettu valmisosa, esimerkiksi seinä tai laatta. Tuotteen laatu tehtaassa tehtynä on parempi. Elementti voidaan tehdä hyvin mittatarkasti ja pienellä materiaalihukalla sarjavalmistusta ja automaatiota hyödyntäen, mikä johtaa tehokkaaseen materiaalin käyttöön ja edullisempiin valmistuskustannuksiin. (13.) Elementtivalmistuksen etuna ovat myös monipuoliset mahdollisuudet pintakäsittelyn ja väri vaihtoehtojen kannalta. Betonielementit ovat painavia ja usein suurikokoisia ja elementtisuunnittelussa onkin tärkeä huomioida myös elementin kuljetus ja nostaminen, joita on käsitelty luvussa 5.3.

5.1 Betonirakenteisen meluesteen pintavaihtoehdot

Ulkonäön kannalta betonielementtirakenteen ehdoton etu on se, että siihen voidaan toteuttaa betonin omien pintakäsittelyiden lisäksi julkisivu myös muista materiaaleista, kuten puusta ja teräksestä. Betonielementtirakenteisen meluseinän julkisivuja suunniteltaessa on huomioitava, että seinän molemmat puolet ovat julkisivuja eikä kaikkia betonin pintakäsittelyjä voi tehdä elementin molemmille puolille, esimerkkinä graafinen betoni ja pesubetonipinta.

Yksinkertaisin meluesteen julkisivu saadaan jättämällä julkisivuksi muottipinta. Lisäksi on olemassa lukuisia keinoja, joilla betonipintaa voidaan elävöittää. Luvuissa 5.1.1–5.1.3 esitellään meluesteisiin soveltuvia betonin pintakäsittelyvaihtoehtoja. Lähteenä on käytetty Betonikeskus ry:n julkaisua Betonijulkisivut 2007 (lähde 14) sekä Betonimestarit Oy:tä (lähde 10). Lisäksi lu-

vussa 5.1.4 tehdään vertailua pintakäsittelyiden kustannuksista ja betoni- ja puurakenteisen meluseinän kustannuseroista.

5.1.1 Muottia vasten valetut pinnat

Muottimateriaali vaikuttaa pinnan ulkonäköön. Elementtitekniikassa tavallisesti käytettyjä muottipintamateriaaleja ovat teräs, puulevy, muovi, lasikuitu ja kumi. Pinnoitetuilla puulevymuoteilla ja teräsmuoteilla saadaan sileää betonipintaa. Jos halutaan muotoiltua pintaa, voidaan muoteissa käyttää kumia, muovia tai lasikuitua. Esimerkiksi muottiin sijoitetulla profiloidulla kumimatolla voidaan tehdä betonipinnasta vaikkapa puupaneeliverhouksen näköinen. Muottipintaan muodostuvia huokosia voidaan vähentää käyttämällä muotissa muottikangasta, jolloin saadaan tiiviimpi pinta. Muottikankaalla ei saada täysin sileää muottipintaa, vaan pintaan jää kangasmainen kuvio.

5.1.2 Tuoreena käsitellyt pinnat

Hiertopintoja ovat puuhierto, teräshierto ja sienihiero. Puuhierretty pinta tehdään hiertämällä pintaa laudalla pinnan oikaisun jälkeen. Teräshierrossa pinta hierretään teräslastalla sileäksi puuhierron jälkeen. Sienihierrolla saadaan osittain kiiltävät ja sileät teräshierretyt betonipinnat himmeäksi ja ulkonäöltään yhdenmukaisiksi. Hiertokäsittelyt tehdään elementin valupinnalle.

Pesubetonipinta saadaan aikaan poistamalla betonin pinnan sementtiliimakerros painepesulla välittömästi muotin purkamisen jälkeen, jolloin betonin kiviaines tulee näkyviin. Tämä on mahdollista käyttämällä muottipinnassa pintahidastinainetta, joka hidastaa betonin pintakerroksen kovettumista. Jos pesun syvyys on alle 2 mm, puhutaan hienopesupinnasta. Pesubetonipinta voidaan toteuttaa myös graafisen betonin valmistusmenetelmällä hidastinkalvon avulla. Pinnan väri saadaan aikaan pääasiassa kiviaineksella, jolloin värisävyn säilyvyys ja värin säänkesto ovat erittäin hyvät.

Graafinen betoni on pesubetonimenetelmä, joka perustuu erikoiskalvoon. Kalvon avulla betonipinnasta saadaan kuvioitu, sileä tai kauttaaltaan pesty. Haluttu kuvio painetaan kalvoon perinteisellä painotekniikalla painomusteen sijaan betonin pintahidastinaineella. Kuvio syntyy betonipintaan hienopesupinnan ja puhdasvalupinnan kontrastina. Menetelmä soveltuu käytettäväksi elementtituotannon vaakavaluissa.

Graafinen betoni antaa monipuoliset mahdollisuudet toteuttaa betonijulkisivupintoja. Sen tyypillisiä käyttökohteita ovat julkisivut, väliseinät ja muurit. Melusteissa graafinen betoni soveltuu kaikkiin näkyviin jääviin betonipintoihin. Värillinen kiviaines yhdessä valkosementin ja väripigmentin kanssa antavat mahdollisuuden värillisille kuvioille. Kuvioinnin voi suunnitella itse tai käyttää valmiita malleja. Kuvassa 11 nähdään betonielementtejä Vantaan Valkoisenlähteentien alikulkusillassa. Graafisella betonilla toteutetun elementtien ulkoasun on suunnitellut taiteilija Tuuli Helve. Elementit on valmistettu Betonimestarit Oy:n elementtitehtaalla.



KUVA 11. Graafisella betonilla toteutettu koskimaisema sillan betonielementissä (10)

Betonipinnan kuviointia suunniteltaessa on hyvä ottaa huomioon graafisen betonin valmistustekniikka ja sen mahdollistama kuvan tarkkuustaso. Kuviointia suunnittelevan taiteilijan tulisi olla tietoinen graafisen betonin valmistusmenetelmästä eli hidastinkalvon valmistuksesta ja elementtitehtaalla tehtävästä osuudesta, jotta työn luonne voidaan sitoa tarkemmin tekniseen toteutukseen. Elementtien valmistajan ja hidastinkalvon valmistajan on järkevää sopia vastuista, koska elementtitehtaan työn jälki on riippuvainen myös kalvon laadusta.

Värillistä betonia käytetään tavallisesti jonkin muun menetelmän yhteydessä, esimerkiksi hienopesupinnoissa sekä graafista betonia tehtäessä. Värillistä betonia valmistetaan käyttämällä väripigmenttejä ja värillistä kiviainesta. Kirkkaimmat värisävyt saadaan käyttämällä sideaineena valkosementtiä. Tavallisimmat käytetyt pigmentit ovat punainen, ruskea ja musta ja harvemmin käytettävät valkoinen, keltainen, sininen ja vihreä. Valkoinen väri voidaan saada vain val-

kosementtiä käyttämällä. Pinnasta saadaan tasavärisempi, kun sementtiliima poistetaan hienotai happopesulla tai hiomalla.

Sinistä betonia voidaan valmistaa lisäämällä betonimassaan kuparijauhetta. Kovettumisen jälkeen betoni käsitellään ammoniumkloridiliuoksella, jolloin pinnasta tulee sininen tai turkoosi.

5.1.3 Kovettuneena käsitellyt pinnat

Hiekkapuhallus tehdään yleensä muottia vasten valettuun pintaan. Betonipinnan värin määräytyminen riippuu hiekkapuhalluksen syvyydestä. Syvä hiekkapuhallus poistaa sementtiliiman lähes kokonaan paljastaen betonin kiviaineksen, jolloin pinnan väri määräytyy pääosin kiviaineksen mukaan. Keskisyvä puhallus paljastaa yksittäisiä suuria kivrakeita ja pienemmän kiviaineksen, jolloin väri muodostuu näkyvästä kiviaineesta ja betonista. Matala puhallus poistaa vain sementtiliiman aiheuttaman kiillon.

Pintavärjättyjä pintoja ovat lasuuribetoni ja kemiallisesti värjätty pinnat. Lasuuripinta tehdään kemiallisella pintakäsittelyllä ja tuloksena on läpikuultava pinta. Kemiallisessa värjäyksessä betoniin imeytetyt kemikaalit reagoivat sementin kanssa värjäten betonin.

Pinnoitettavia betonipintoja voidaan tehdä betoniin soveltuvilla läpikuultavilla tai peittäville maaleilla, joita ovat alkydipinnoitteet, akryylimaalit, dispersiomaalit, silikoniemulsiomaalit, silikaattimaalit ja sementtimaalit, tai pinnoittaa rappauksen kaltaisella pinnoitteella. Yksi pinnoitteiden valmistaja on esimerkiksi ruotsalainen Ab Universalfärg, jonka tuotteista löytyy tietoa internet-osoitteesta www.universalfarg.se. Käytettävien pinnoitteiden tulee olla hyväksytyjä käytettäväksi infra-rakenteisiin.

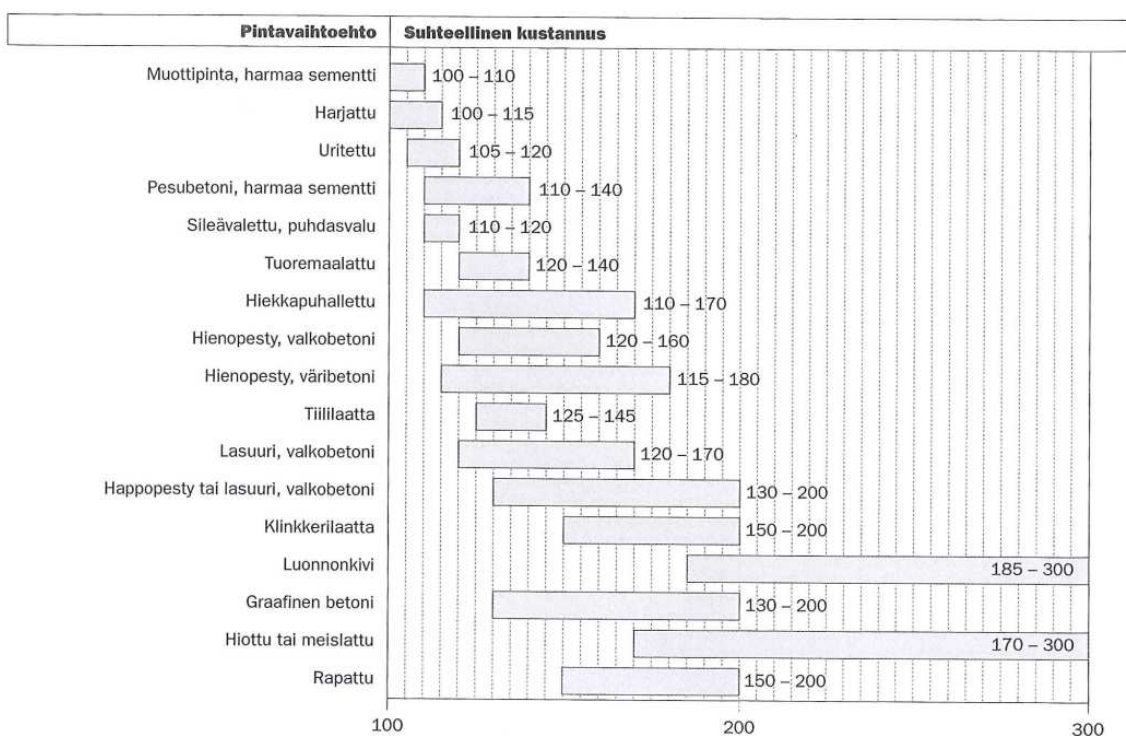
Töhryjen puhdistettavuuteen on varsinkin kaupunkialueella hyvä kiinnittää huomiota jo meluesteen suunnitteluvaiheessa. Töhryt on helpompi poistaa tasaiselta ja tiiviiltä pinnalta kuin huokoiselta ja epätasaiselta. Suuria tasaisia pintoja tulee välttää niiden helpon töhrittävyyden vuoksi. Suojaamattomalle betonipinnalle tehty töhry imeytyy syvälle materiaaliin, jolloin sen poistaminen on erittäin hankalaa. Tämän vuoksi olisi hyvä käyttää töhryjen suoja-aineita, joilla estetään töherrysvärien tunkeutumista alustansa. Suoja-aineella helpotetaan pinnan puhdistamista graffiteista ja muusta liasta. Töhrynsuoja-aineita on kahdenlaisia: uhrautuvia ja puhdistettavia. Uhrautuva töhrynsuoja irtaantuu pinnan puhdistuksen mukana pois, joten töhrynsuojakäsittely on

uusittava puhdistuksen jälkeen. Puhdistettava töhrynsuoja pysyy pinnassa, vaikka sitä puhdistettaisiin kuumalla vedellä tai kemikaaleilla. Puhdistettava suoja-aine koostuu yleensä kolmesta ainekerroksesta. (1, s.43–45; 15, s.16.)

5.1.4 Meluseinän pinnoituskustannuksia

Taulukossa 1 esitetään betonijulkisivujen suhteellisia kustannuksia. Kustannusvaihtelu pintavaihtoehdon sisällä johtuu valmistettavan sarjan koosta. Hinta on edullisempi, kun valmistetaan suuri sarja samaa pintaa verrattuna pieneen valmistussarjaan. Sarjalla tarkoitetaan elementin valmistuserää, joka voidaan tehdä samoja muotteja hyödyntäen. Tällä hetkellä betonielementin hinta harmaalla sementillä ja tavallisella muottipinnalla on noin 80–100 €/m² (10).

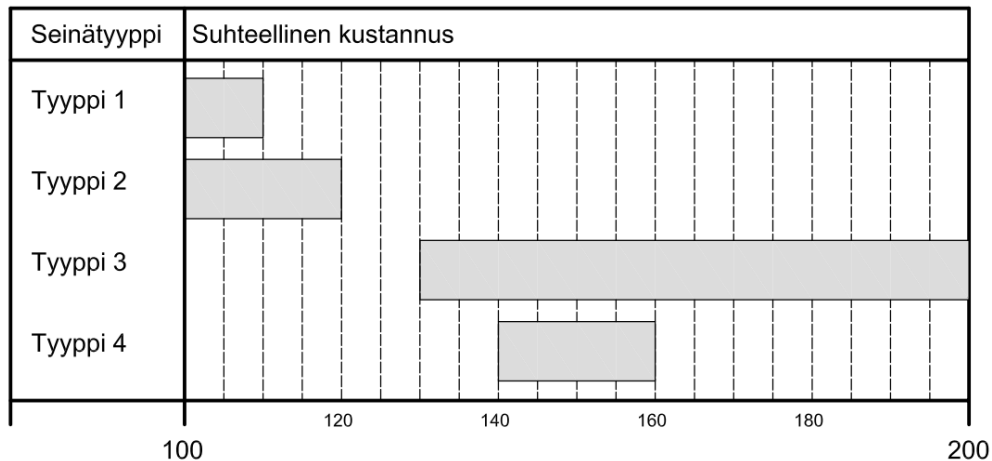
TAULUKKO 1. Betonijulkisivujen suhteelliset kustannukset (14)



Taulukossa 2 on verrattu puu- ja betonirakenteisen meluseinän kustannuksia. Vertailussa on käytetty apuna WSP Finland Oy:ltä ja Betonimestarit Oy:ltä saatuja hintatietoja. Taulukosta nähdään, että betonirakenteinen seinä on kilpailukykyinen vaihtoehto puurakenteiselle seinälle. Jos

halutaan puurakenteinen seinä, voi olla edullisempaa rakentaa seinä betonirakenteisena ja tehdä siihen erillinen puuverhous.

TAULUKKO 2. *Puu- ja betonielementtirakenteisen meluseinän hintavertailu*



Taulukon 2 seinätyypit ovat

- Tyyppi 1: Betonirakenteinen seinä, sileä muottipinta ja harmaa sementti
- Tyyppi 2: Puurakenteinen seinä, maalattu ponttilautaverhous
- Tyyppi 3: Betonirakenteinen seinä, pintakäsittely graafisella betonilla
- Tyyppi 4: Puurakenteinen seinä, maalattu puurimaverhous.

5.2 Melusteiden laatuvaatimukset

Melusteiden suunnitteluohjeessa on annettu laatuvaatimukset melusteiden akustisille ja rakenteellisille ominaisuuksille. Luvuissa 5.2.1 ja 5.2.2 käsitellään meluesteen akustisia ja rakenteellisia laatuvaatimuksia.

5.2.1 Akustiset laatuvaatimukset

Meluesteen päätarkoitus on **vaimentaa** melua melulähteen ja suojattavan kohteen välillä. Melusteella saavutettavaan äänen vaimenemiseen vaikuttavia tekijöitä ovat meluesteen sijainti, korkeus ja pituus sekä suojattavan kohteen sijainti ja korkeus. Vaimennus on sitä suurempi, mitä pidemmän matkan ääni joutuu kiertämään verrattuna suoraan etäisyyteen esteen läpi. Vaimennus lasketaan melulaskentamallilla tai mitataan kohteessa. Meluesteen eristävyydellä ei ole juu-

rikaan vaikutusta vaimennukseen sen jälkeen, kun on saavutettu kohtuullinen (20–25 dB) eristävyytaso. (1, s.58.)

Äänen **eristävyttä** kuvataan eristävyysluvulla DL_R , joka kuvaa rakenteen kykyä vaimentaa esteen läpi menevää ääntä. Eristävyys mitataan laboratoriossa ja eristävyysvaatimus luokitellaan seuraavasti (1, s.60):

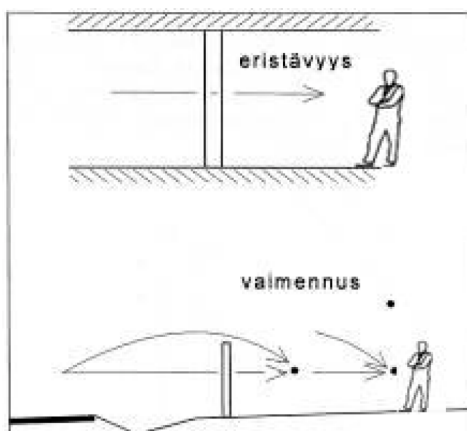
- luokka B3: DL_R vähintään 25 dB
- luokka B2: DL_R vähintään 15 dB
- luokka B1: DL_R vähintään 5 dB.

Eristävyysluokuvaatimus on yleensä B3 ja periaatteena on, että eristävyys ei saa alentua alle valitun vaatimustason meluesteen suunnitellun käyttöiän aikana.

Betonilla saavutetaan paras eristävyysluokka käytännössä aina, koska jo 100 mm:n paksuinen seinä eristää vaadittavat 25 dB. Esimerkiksi seuraavilla materiaalivalinnoilla saavutetaan luokan B3 eristävyys (1, s.60):

- vähintään 20 mm:n vaneri
- 6 mm:n vaneri + 20 mm:n lomalaudoitus
- vähintään 3 mm:n teräslevy (+villa ja runko)
- vähintään 100 mm:n paksuiset betonielementit, joiden välissä on elastinen tiiviste.

Kuva 12 havainnollistaa rakenteen vaimennuksen ja eristävyyden välistä eroa.



KUVA 12. Havainnekuva rakenteen eristävyyden ja vaimennuksen eroista (1, s. 58)

Absorboiva eli ääntä imevä meluste heijastaa vain pienen osan liikennemelusta takaisin tielle. Äänen imevyys ilmaistaan absorptioluvulla DL_{α} . Absorptioluku mitataan laboratoriossa ja sen suuruus on luokiteltu seuraavasti:

- A0 = ei testattu
- A1 1–3 $dB_{DL\alpha}$
- A2 4–7 $dB_{DL\alpha}$
- A3 8–11 $dB_{DL\alpha}$
- A4 vähintään 12 $dB_{DL\alpha}$. (1, s.62.)

Luokkiin A3 ja A4 kuuluvia melusteita voidaan kutsua ääntä imeviksi. Tavallisin ääntä imevä materiaali melusteissa on raskas lasi- tai vuorivilla, jolla saavutetaan useimmiten luokka A3 tai A4. Huokoisella betonilla, kevytbetonilla tai vastaavalla voi päästä luokkaan A2 tai A3. (1, s. 63.)

Luokkaan A3 tai A4 kuuluvia melusteita käytetään muun muassa silloin,

- kun vilkasliikenteisen ajoradan ja melusteen välissä on kevyen liikenteen väylä
- kun tien toisella puolella on meluseinä ja välimatka on alle 15 kertaa seinien korkeus
- tunnelissa ja kulkuaukon kohdalla
- kun tien vastakkaisella puolella on asutusta, jonka melua heijastava seinä lisäisi. (1, s.63.)

5.2.2 Rakenteen laatuvaatimukset

Melusteiden suunnittelussa sovelletaan tärkeimmissä turvallisuuteen ja terveyteen liittyvissä asioissa EN-standardeja. Kaikissa kohteissa tulisi huomioida tuulikuorma, auraslumikuorma (jos aurattava lumi voi osua esteeseen), omapaino sekä rakenteeseen kertyvän veden ja lumen paino. Lisäksi tien läheisyydessä tulisi huolehtia törmäysturvallisuudesta.

Melusteiden rakenteiden tulee kestää ilmastotekijöitä vähintään 50 vuotta perustusten, kantavien rakenteiden ja rungon osalta, paitsi puurungon osalta 40 vuotta. Betonilla päästään helposti vaadittuun käyttöikään. Absorboivissa melusteissa on huokoisia ääntä imeviä materiaaleja, joiden käyttöikä harvoin ylittää samaan muun rakenteen käyttöiän kanssa. Tästä syystä absorboivien rakenteiden kestävyttä tulee seurata. Huokoisilla materiaaleilla ei yleensä saavuteta luotettavasti yli 15 vuoden käyttöikää. (1, s.76.)

Tuuli ei saa murtaa tai taivuttaa liikaa meluseinää. Tuulikuorma lasketaan SFS-EN 1991-1-4 mukaisesti. Voidaan kuitenkin valita tuulikuormaksi 1 kN/m^2 , jos halutaan välttää tarkemmat laskelmat. Normaaleilla silloilla tuulikuorman arvona käytetään $1,6 \text{ kN/m}^2$. Lähellä ajava kuorma-auto voi aiheuttaa $0,8 \text{ kN/m}^2$ ja tunnelissa $1,5 \text{ kN/m}^2$ kuormituksen eriaikaisesti tuulen kanssa. (1, s. 66.)

Meluesteille on määritetty **maksimitaipumat**, joiden mukaan meluesteen tukipilari saa taipua maksimissaan 30 mm, kun seinän korkeus on alle 4,5 metriä, tai $L/150$, kun korkeus on yli 4,5 metriä (L on seinän korkeus). Seinäelementti saa taipua vaakasuunnassa enintään 50 mm alle 5 metrin pilarivälillä ja pilariväli/100, kun pilariväli on enemmän kuin 5 metriä. (1, s. 66.) Vinot tai ilman pilareita pystytettävät meluseinät suunnitellaan noudattaen poikkeavia laatuvaatimuksia, jotka on esitetty SFS-EN 1794-1:2003 liitteessä A (16, s. 11):

- vaakasuuntainen taipuma enintään $L/150$, missä L on elementin pituus
- vaakasuuntainen taipuma elementin pituus- ja korkeussuunnassa enintään 50 mm.

Aurauslumikuorma on aurauksessa lentävän lumen aiheuttama kuormitus melusteeseen. Aurauslumikuorma voi olla suurempi kuin tuulikuorma, jos esteen etäisyys aurattavasta tiestä on alle 7 metriä. Aurausnopeudella 60 km/h lentävä lumi aiheuttaa 15 kN kuorman $2 \times 2 \text{ m}$:n alalle, jonka yläreuna sijaitsee enintään 2,5 metrin korkeudella tien pinnasta. Aurauskuorma otetaan huomioon vain murtorajatilatarkastelussa eikä se mitoituksessa vaikuta samanaikaisesti tuulikuorman kanssa. (1, s. 67.)

Meluesteen on kestävä sen omapaino, siihen kertyvän veden ja lumen paino murtumatta tai taipumatta liikaa. Taipumien raja-arvot on esitetty standardin EN-1794-1:2003 liitteessä B.

Ajoradan reunassa sijaitseva meluste toimii samalla kaiteena, joten sen täytyy kestää **ajoneuvon törmäys** ja estää sitä menemästä esteen läpi. Törmäyskestävyys täytyy testata törmäyskokeella. Ajoradan vieressä sijaitsevan meluseinän täytyy toimia myös kaiteena. Tällöin meluseinän alaosa suunnitellaan kuten jäykkä betonikaide tai vaihtoehtoisesti voidaan sallia ajoneuvon pääsy esteen läpi niin, ettei se aiheuta vaaraa ajoneuvossa olijoille. Tällaisen ratkaisun toteuttaminen on mahdollista puu- tai muovirakenteisena ja turvallisuus pitää osoittaa törmäyskokeella. (1, s. 68.)

Melueste voi joutua iskun kohteeksi joko ilkvallan tai tien kunnossapidon johdosta. Tämän takia meluesteen tulee kestää 30 J:n isku ilman pientä lommoa tai halkeamaa. Isku vastaa esimerkiksi 1,5 kg:n tulpän terästangon pudottamista 2 metrin korkeudelta ja se kuvaa aurauksessa lentävää jääpalaa tai pikkulapsen heittämää kiveä. Rajulle ilkvallalle alttiilla paikoilla ja silloilla esteen tulee kestää 500 J:n isku ilman irtoavia osia tai 6000 J:n isku, jolloin vain vaarattomia osia irtoaa. (1, s. 76–77.)

Meluesteen määräävät **materiaalitekniset vaatimukset** esitetään InfraRYL2006:ssa. Niitä ovat muun muassa meluseinän pilarin materiaali, joka voi olla betoni, puu, pinnoitettu teräs tai ruostumaton teräs. Liitosten on oltava sellaisia, ettei seinä putoa paikaltaan, vaikka tuuli tai auraukskuorma taivuttaisi seinää. Kiinnikkeinä on käytettävä säälle alttiissa, kosteisiin olosuhteisiin tulevissa, kantavissa tai henkilöturvallisuuden kannalta merkittävässä rakenteissa ruostumattomia kiinnikkeitä, ruuveja ja nauloja. Yhdessä käytettävien kiinnikkeiden tulee olla samaa materiaalia. Sokkelin korkeus on vähintään 300 mm. (1, s. 72.)

Läpinäkyville meluesteille sovelletaan samoja rakenteellisia laatuvaatimuksia kuin muillekin meluesteille. Läpinäkyvissä meluesteissä on erityisesti huomioitava erilaisten materiaalien lämpölaajeneminen. Muovin lämpölaajeneminen on kahdeksankertainen lasiin verrattuna ja kuusinkertainen teräkseen verrattuna. (1, s. 72.) Läpinäkyvä materiaali on ilkvallan kannalta ongelmallinen. Niitä töhritään enemmän, koska töhry näkyy molemmille puolille. Lasi on helppo rikkoa tai naarmuttaa ja akryyli ja polykarbonaatti himmenevät valon, pesun ja töhryjen poiston seurauksena.

Meluestetuotteen sisältämät materiaalit on vaadittaessa ilmoitettava SFS-EN 1794-2 liitteen C mukaan ja pyydettyäessä on annettava selvitys hävittämistä tai uusiokäyttömahdollisuuksista. Myrkyllisistä palamiskaasuista on varoitettava, kuten myös rakentamisen ja käytön aikaisista irtoavista haitallisista aineista. (1, s. 68.)

Muita vaatimuksia

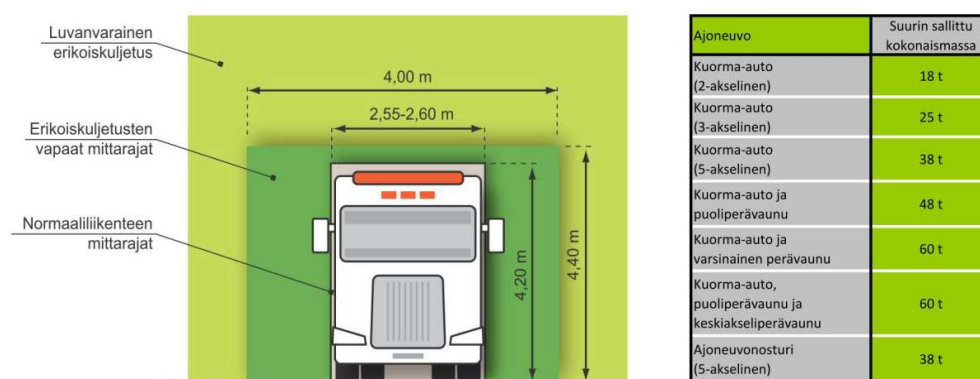
Meluesteeseen täytyy sijoittaa poistumisovi 1 kilometrin välein, jos tien molemmin puolin on yli 2 kilometrin pituinen yhtenäinen jakso korkeita meluesteitä, kuten meluseiniä, valleja ja tukimuureja, jotka estävät poistumisen tiealueelta. Moottoritiellä riittää, kun kuvatus mukainen tilanne on tien toisella puolella. (1, s. 69.)

Melusteissa ei saa käyttää herkästi syttyviä materiaaleja. Melusteohje luokittelee herkästi syttyviksi materiaaleiksi esimerkiksi muoviverkon tai -kalvon, joka ulotutaan sytyttämään tulitikulla tai joka syttyy ruohikkopalosta. Myös alle 30 mm paksuista säleistä tehty tiheä puu- tai muovisäleikkö luokitellaan herkästi syttyväksi. Kun meluseinän pituus on yli 1 km tai seinä yhdistää kaksi rakennusta, vaaditaan seinään vähintään 8 m:n palamaton osuus. Palamaton seinä on esimerkiksi betoniseinä, jossa on korkeintaan 20 puista pystyrimaa 8 metrin matkalla. (1, s. 69.)

5.3 Kuljetus- ja nostokalusto

EU-lainsäädännössä säädetään maantiekuljetusten enimmäismassat ja -mitat. Enimmäisrajat ylittävä kuorma on erikoiskuljetus, joka voi tarvita erikoiskuljetusluvan. Nostokaluston nostokapasiteetti voi myös asettaa rajoituksia elementin koolle.

Normaaliliikenteen mitta- ja/tai massarajat ylittävät kuljetukset ovat erikoiskuljetuksia. Erikoiskuljetukseen tarvitaan lupa, jos kuljetus ylittää erikoiskuljetuksen vapaat mittarajat tai normaaliliikenteelle sallitut massat. Kuljetuksen ylimassa, -korkeus, -pituus tai -leveys ei saa johtua kuormattavien esineiden sijoittamisesta rinnakkain, peräkkäin tai päällekkäin. Kuljetuksen suurin sallittu kokonaismassa ja pituus riippuvat käytettävästä ajoneuvosta. Erikoiskuljetus, joka ei ylitä vapaita mittarajoja, ei tarvitse erikoiskuljetuslupaa. Kaikkien erikoiskuljetusten on kuitenkin noudatettava erikoiskuljetusten merkitsemisestä ja varoitustoimenpiteistä annettuja määräyksiä, joita ovat esimerkiksi kuorman merkintätapa sekä varoitusautojen ja liikenteenohjaajien määrä. (17, s. 2–5.) Maantiekuljetusten mitta- ja massarajat on esitetty kuvassa 13.



KUVA 13. Maantiekuljetusten mitta- ja massarajat (17, s.3)

Kuvasta 14 voidaan lukea, että kuljetuksen suurin sallittu koko ilman varoitusautoa on korkeintaan 3,5 m leveä, 25,25 m pitkä ja 5,0 m korkea. Kuljetuksen koon kasvaessa kiinnitetään yhä enemmän huomiota kuljetuksen näkyvyyteen liikenteessä.

Varoitustoimet	Kuljetuksen mitat													
	Korkeus yli 5 m	Kuljetuksen leveys B (m)												
		Kuljetuksen pituus L (m)												
		B ≤ 3	3 < B ≤ 3,5		3,5 < B ≤ 4		4 < B ≤ 5		5 < B ≤ 7		B > 7			
		L ≤ 30	30 < L ≤ 40		L > 40		L ≤ 25,25		25,25 < L ≤ 30		30 < L ≤ 45		L > 45	
		L ≤ 30	30 < L ≤ 40		L > 40		L ≤ 30	30 < L ≤ 40		L > 40		L ≤ 35	L > 35	
													Kaikki pituudet	Kaikki pituudet
Varoitusautoja edessä	1		1	1			1	1	2			1	2	2
Varoitusautoja takana				1				1	1			1	1	1
Liikenteen ohjaajia	1		1	2				2	3			2	3	3
Poliisiauto tai varoitusauto ja liikenteen ohjaaja														1

KUVA 14. Erikoiskuljetusten varoitustoimet. (17, s.18)

Nostokaluston kapasiteetti ei rajoita meluseinäelementin kokoa. Autoalustaisia nostureita on lukuisia erilaisia vaihtelevilla nostokapasiteeteilla. Yksi ajoneuvonosturien valmistaja on Liebherr, jonka nosturien suurimmat nostokapasiteetit liikkuvat välillä 40–500 t. Jos nosturin nostosäteeksi valitaan esimerkiksi 14 m, nostokapasiteetti on 5,3–106,0 tonnia. (18.) Betoninen meluseinäelementti painaa noin 10 tonnia.

6 VALTATEIDEN 4 JA 8 PARANNETTAVAT TIEOSUUDET

Tässä työssä kehitettävä meluseinäratkaisu kehitettiin kahden todellisen kohteen suunnittelun yhteydessä. Meluseinän kehitystyö aloitettiin projektin *Zatelliitin alueen eritasoliittymä ja tieverkon tarkastelu* yhteydessä, joka on osa hanketta *Valtatien 4 parantaminen välillä Kempele - Kello*. Kehitystyö saatettiin loppuun *Valtatien 8 parantaminen välillä Kotiranta – Stormossen* suunnittelussa, jossa paranneltiin muutamia yksityiskohtia sekä kehitettiin teräsputkipaaluperustukseen sopiva elementtirakenteinen seinän kiinnitystapa.

6.1 Valtatien 4 parantaminen välillä Kempele – Kello

Hanke koskee Pohjantien parantamista noin 26 km:n matkalla, joka alkaa Zeppeliinin kohdalla olevasta Kempeleen eritasoliittymästä ja ulottuu Haukiputaalle Kellon eritasoliittymään (kuva 15).



KUVA 15. Suunnittelualue valtatie 4 parantamishankkeessa (11)

Tämän tiejakson ongelmia ovat nykyään

- Oulujoen ylittävä tiejakso, jossa esiintyy ruuhkia ja suuria nopeusvaihteluja aamu- ja ilta-huipputuntien aikana

- muutamat rampit, joiden suuret liikennemäärät aiheuttavat ongelmia moottoritielle liittymisissä ja erkanemisissa
- turvallisuuspuutteet, osa eritasoliittymistä on riskialttiita
- osittain jo nykyiselle liikennemäärälle puutteellinen melusuojaus

Suunnitelman yleisenä tavoitteena on kehittää valtatie 4 Oulun kaupunkiseudulla korkeatasoiseksi kaupunkimoottoritieksi siten, että tie ja sen liittymät pystyvät välittämään yhä kasvavat liikennemäärät turvallisesti ja sujuvasti. Yleissuunnitelmassa esitettyjen kehittämistoimien seurauksena tiejakso muutetaan luokan C moottoritieksi (kaupunkimoottoritie I-luokka, nopeustaso 100 km/h). Tiejakson parantamistoimenpiteitä ovat automaattisesti olosuhteiden mukaan vaihtuvat nopeusrajoitukset, tien levennys 3+3-kaistaiseksi välillä Kempele - Pateniemi ja kaikkien tiejaksoilla olevien 11 eritasoliittymän parantaminen rakentamalla merkittävä määrä uusia ramppeja pysäkki- ja kevyen liikenteen järjestelyineen. Kevyen liikenteen olosuhteita parannetaan erityisesti Oulujoen ylityskohdalla, johon suunnitelmissa on esitetty kevyen liikenteen silta nykyisen sillan ylävirran puolelle. Lisäksi liikennemäärien voimakas kasvu edellyttää mittavia meluntorjuntatoimenpiteitä.

Hankkeen yleissuunnitelmassa oli esitetty uutta eritasoliittymää Zatelliitin alueen kohdalle. Zatelliitti on Kempeleeseen vireillä oleva liike- ja työpaikka-alue ja se sijoittuu Kempeleen ja Ouluntullin eritasoliittymien väliselle alueelle. Zatelliitin alue on osoitettu nuolella kuvassa 15. Uusi eritasoliittymä edellyttää kaavamutosta, joten Kempeleen kunta laati hanketta varten taajaman osayleiskaavan muutoksen, jonka tarkoituksena oli korvata Oulun seudun yhteinen yleiskaava kyseisellä suunnittelualueella. Oulun hallinto-oikeus kuitenkin katsoi, että osayleiskaava on yleiskaavan vastainen, joten Zatelliitin eritasoliittymä ja siihen liittyvät rakenteet, esimerkiksi melusuojaukset, jäivät toistaiseksi rakentamatta.

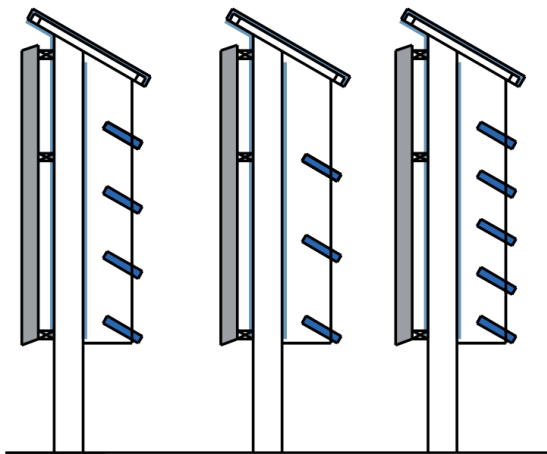
Melusuojausrakenteet

Melusuojaustapoina käytetään meluseiniä, melukaiteita, läpinäkyviä melukaiteita ja -seiniä sekä meluvalleja. Osa kaiteista toimii tukimuurina meluvallille. Suunnittelualue on jaettu erilaisiin jaksoihin perustuen ympäröivän kaupunkirakenteen erityyppisiin osiin ja niille parhaiten sopiviin melusuojaustapoihin. Erilaisia jaksoja ovat asumisjakso, työpaikkajakso, lähestymisjakso, ydinjakso ja teknojakso. Zatelliitin alue kuuluu työpaikkajaksoon, jossa näkyvyyden tavoittelu on avain-

asemassa. Pääperiaate on, että alueelle ei rakenneta melusuojausta, vaan vt 4:n varteen rakennuvat toimitilarakennukset toimivat melusuojauksena taemmalle asutukselle. Mikäli asuinrakentaminen toteutuu ennen toimitilarakentamista, tehdään tarvittavat melusuojausrakenteet, jotka voidaan purkaa pois toimitilojen rakennuttua.

Zatelliitin alueelle suunniteltiin 180 metriä yhtenäistä **meluseinää**. Perustustapa oli koko matkalla maanvarainen peruslaatta. Perustuksissa päätettiin käyttää vain yhtä peruslaatan kokoa. Seinäelementin jännemittana käytettiin 6,0 metriä ja maksimikorkeutena 4,6 metriä. Kohteeseen tulevien meluseinien melusuojaustarve oli tien tasausviivasta +6,0 m. Seinät tulivat meluvallin päälle ja niiden korkeudet määritettiin meluseinälinjan pituusleikkauksesta. Seinäelementtien korkeudet olivat 3,8–4,6 m seinien korkeuseron ollessa 0,2 m. Seinien näkyvän osan korkeus vaihteli välillä 3,0–3,8 m.

Kuvassa 16 esitetään Zatelliitin alueen meluseinän poikkileikkaus. Betonielementtirunko on maallattu ylhäältä sokkelin tasoon asti. Kummankin puolen pintarakenteiden jaotuksessa on kolmea eri tiheyttä, joita vaihtelemalla saadaan meluseinään elävyyttä. Vesikatteena on huopakate.



KUVA 16. Periaatekuva Zatelliitin alueen meluseinän poikkileikkauksesta (11)

Pintarakenteena ajoradan puolella ovat teräksisiin pystyprofileihin kiinnitetyt teräksiset tai puiset vaakaritilät (kuva 17).



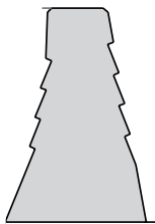
KUVA 17. Havainnekuva meluseinästä ajoradan puolelta (11)

Asutuksen puolella on vaakakoolauksen päälle kiinnitetty puinen pystyrimoitus (kuva 18).



KUVA 18. Havainnekuva meluseinästä asutuksen puolelta (11)

Melukaiteita Zatelliitin alueella on noin 300 m ja **tukimuurina** toimivia kaiteita noin 680 m sekä lisäksi kolme **meluvallia**, joiden yhteismitta on noin 1400 m. Melukaiteet on suunniteltu Tielaitoksen (nykyään Liikennevirasto) tyyppipiirustuksia soveltaen ja niitä on 1,1 m:n ja 1,6 m:n korkeisia. Tukimuurina toimiva kaide on poikkileikkaukseltaan samanlainen kuin melukaide sillä poikkeuksella, että se on luonnollisesti toiselta puolelta täysin pystysuora ja sileä. Tukimuurin korkeus on näkyvältä osaltaan 1,1 m. Zatelliitin alueen melukaiteen pinta on muotoiltu poimu-maiseksi profiiliksi. Kaiteen poikkileikkausmuoto on kuusta muistuttava. (Kuva 19.)



KUVA 19. Melukaiteen poikkileikkaus

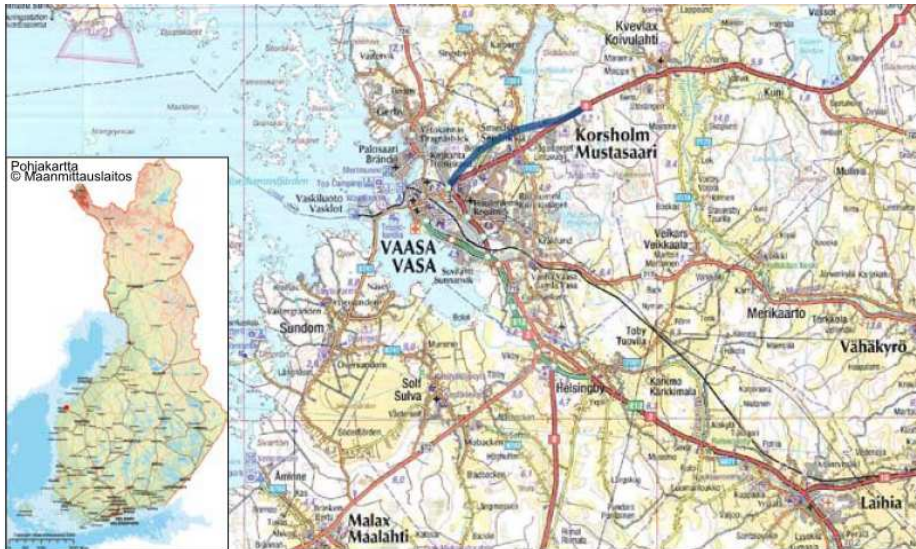
Kuvassa 20 nähdään havainnekuva melukaiteesta tieympäristössä sekä kaiteen julkisivu.



KUVA 20. Havainnekuva 1,1 m korkeasta melukaiteesta (11)

6.2 Valtatien 8 parantaminen välillä Kotiranta - Stormossen

Valtatie 8 toimii Vaasan pohjoisena sisääntulotienä ja palvelee Vaasan kaupunkiseudulla sekä ohikulkuliikennettä että maankäyttöä ja elinkeinoelämää. Valtatie kulkee keskeisesti Sepänkylän taajaman halki. Valtatie 8:n parantamisessa rakennetaan Vaasan Kotirannasta Mustasaaren Stormosseniin ohikulkutie Sepänkylän pohjoispuolitse noin 7,5 km:n matkalle. Ohikulkutien rakentamisesta laadittiin tiesuunnitelma ja rakennussuunnitelma 1990-luvulla, mutta tuolloin hankkeelle ei myönnetty rahoitusta. Suunnitelman lainvoimaisuuden päätyttyä vuonna 2005 suunnittelu aloitettiin uudelleen. Kuvassa 21 on Vaasan seudun tieverkko, johon suunniteltu ohikulkutie on merkitty sinisellä.



KUVA 21. Vaasan seudun tieverkko

Nykyinen valtatie kulkee Vaasan Sepänkylän taajaman halki. Nykyiset liikennemäärät ovat 9000–15000 ajoneuvoa vuorokaudessa ja maankäytön kehittämistoimet tulevat lisäämään liikennemääriä merkittävästi. Tiejakson ongelmana onkin liikenneturvallisuuden heikkeneminen liikenteen kasvaessa. Osuudella on 7 liikennevalot ja puolella osuudesta 60 km/h nopeusrajoitus. Tiejaksolla on tapahtunut lähivuosina keskimäärin 6,6 henkilövahinko-onnettomuutta vuodessa ja onnettomuusmäärä on kolminkertaistunut lyhyellä aikajaksolla. Liikenneonnettomuudet ovat kasautuneet tasoliittymiin.

Tiehankkeen tavoitteena on vähentää merkittävästi liikenteen turvallisuus- ja sujuvuusongelmia sekä minimoida negatiiviset vaikutukset huomioimalla liikenteen meluhaitat, pohjaveden suojaus ja eläimistön elinolosuhteiden säilyminen mahdollisimman hyvin. Ohitustie rakennetaan 2+2-kaistaisena ja kaikki liittymät valtatielle rakennetaan eritasoliittyminä. Risteyssiltoja tulee 8 kpl ja kevyen liikenteen alikulkukäytäviä 3 kpl. Ohitustien liikenteen aiheuttamaa melua rajoitetaan melukaiteilla, meluseinillä ja meluvalleilla.

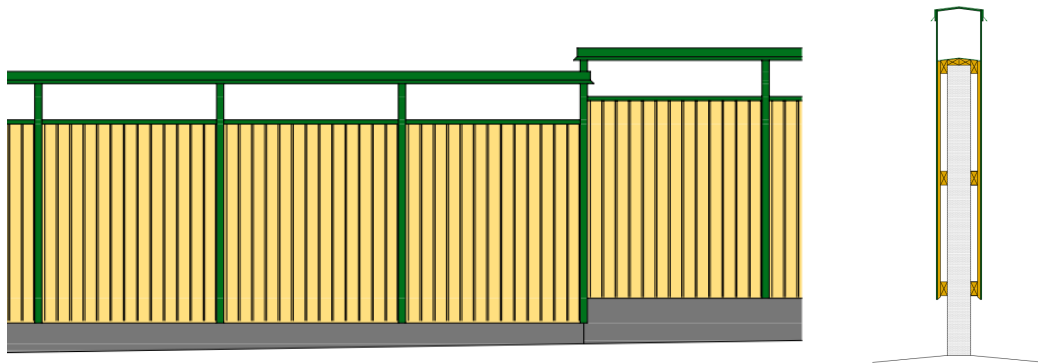
Melusuojausrakenteet

Valtatien 8 parantamishankkeessa melusuojaus toteutetaan rakentamalla alueelle mittava määrä meluesteitä. Meluesteinä käytetään meluvalleja, meluseiniä ja melukaiteita.

Meluseiniä on seitsemässä jaksossa yhteensä noin kaksi kilometriä, josta noin puolet perustetaan maanvaraisena ja puolet teräsputkipaaluilla. Koko ohitustien matkalla meluseinä toteutetaan julkisivultaan samanlaisena.

Seinäelementin jännemittana käytettiin 6,0 m ja maksimikorkeutena 4,6 m. Melusuojaustarve oli 3,0–5,5 m tien tasausviivasta mitattuna. Elementtien korkeudet olivat 2,8–4,6 m, jolloin näkyvän osan korkeus vaihteli välillä 2,0–3,8 m. Lisäksi seinän päällä on noin 400 mm korkea teräsraakenainen avoin korotusosa.

Kuvasta 22 nähdään seinän julkisivu ja poikkileikkaus. Seinän pintarakenteena on molemmilla puolilla pystyverhous, joka toteutetaan maalatulla, hienosahatulla ponttilaudalla. Pystyverhouksen päällä on lattateräkset, jotka jatkuvat seinän yli muodostaen korotusosan. Seinän päällä on huopakate ja korotusosan päällä peltikate.



KUVA 22. Meluseinän julkisivu ja poikkileikkaus

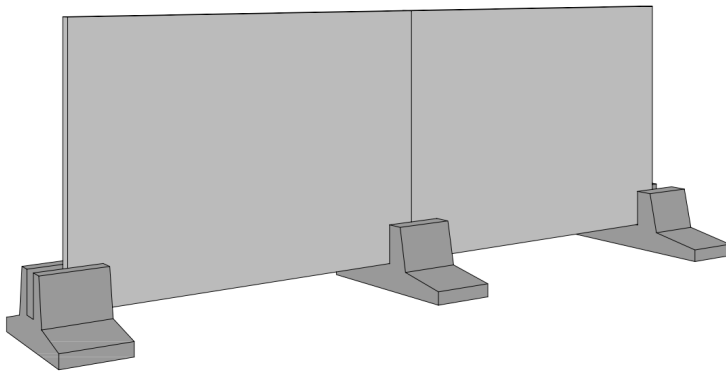
Suunniteltavalla tiejaksolla on **meluvalleja** viidellä jaksolla yhteensä 2,0 km. **Melukaiteet** jakautuvat suunnittelualueella 11 jaksoon yhteismäärän ollessa noin 2,3 km. Kaiteita on 1,0 m:n ja 1,5 m:n korkuisia. Tiejakson Vaasan puoleisessa päässä melukaiteista noin 450 m toteutetaan elementtirakenteisena. Elementtikaiteet ovat poikkileikkaukseltaan samankaltaisia kuin luvussa 6.1 esitellyssä Zatelliitin kohteessa (ks. kuvat 19 ja 20 sivulla 38). Jakson loppuosan kaiteet tehdään paikallavaluna liukuvalutekniikalla. Kuvassa 23 on esimerkki liukuvaletusta melukaiteesta.



KUVA 23. Liukuvalettu melukaide

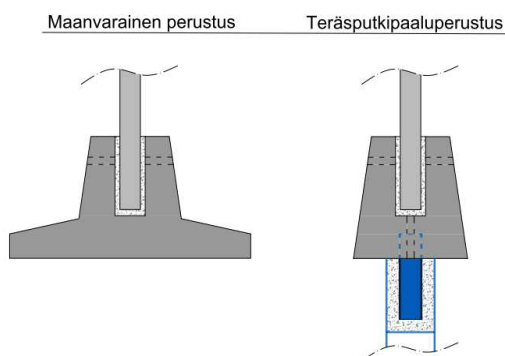
7 ILMAN PILAREITA PYSTYTETTÄVÄ MELUSEINÄ

Meluseinän rakennejärjestelmä on perinteisesti sellainen, jossa perustukseen kiinnitettyjen pilareiden väliin kannatetaan sokkelielementti. Sokkelielementin päälle tuetaan seinäelementti tai -elementit, jotka kiinnitetään pilareihin. Tässä työssä kehitettiin teräsbetonielementtirakenteisena ratkaisu, jossa seinäelementti tuetaan suoraan perustukseen ilman pilareita ja erillistä sokkelielementtiä (kuva 24).



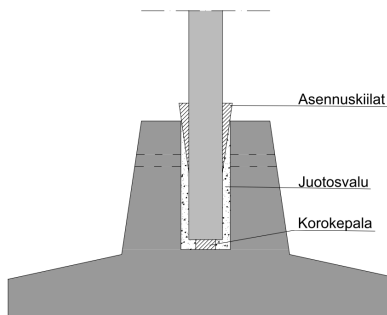
KUVA 24. Kehitetty meluseinäratkaisu maavaraaisella perustuksella

Kehitetty meluseinäratkaisu koostuu seinäelementistä ja perustuselementistä. Perustuselementtiä voidaan käyttää maanvaraisena tai kallionvaraisena laattaperustuksena tai se voidaan kiinnittää teräsputki-paaluun. (Kuva 25.) Paaluperustuksilla perustuselementtiin valetaan I-profiilipalkki, joka asennetaan paalun sisään.



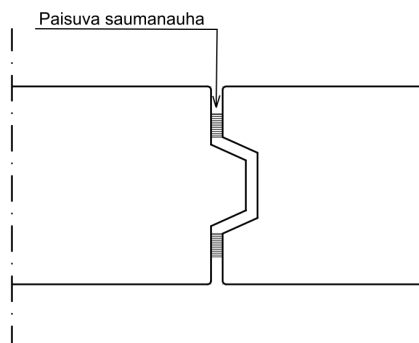
KUVA 25. Perustustavat kehitetyllä elementtiratkaisulla

Seinä asennetaan perustuselementin hahloon oikeaan asemaansa asennuskiilojen ja korokepalojen avulla, minkä jälkeen hahlo täytetään juotosvalulla. (Kuva 26.) Hahlossa on asennusvaraa seinän molemmin puolin 40 mm ja korkeussuunnassa 50 mm.



KUVA 26. Seinän liitos perustukseen

Seinäelementtien välinen liitos toteutetaan elementin pätyihin tehdyllä ponttiprofiililla. Saumojen tiiveys varmistetaan esimerkiksi tarkoitukseen sopivalla paisuvalla saumanauhalla. (Kuva 27.) Kun lisäksi seinän paksuus on yli 100 mm, täytetään tällä ratkaisulla melusteiden luokan B3 eristävyysvaatimus (≥ 25 dB).



KUVA 27. Seinäelementtien liitos

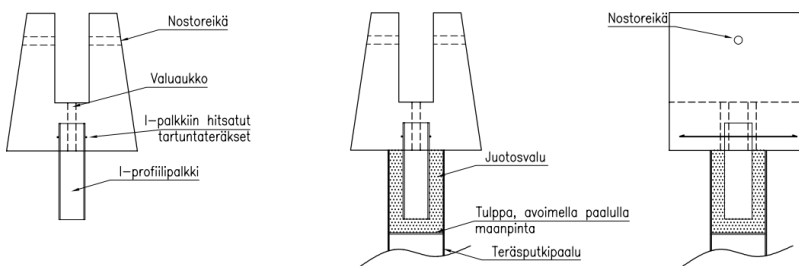
7.1 Maanvarainen laattaperustus

Maanvaraista perustamista varten oli kehitettävä elementti, joka koostuu peruslaatasta ja hahlostasta, johon seinä upotetaan. Kuvasta 28 nähdään perustuselementin poikkileikkauksen muoto.

Edellä kuvatuilla ratkaisuilla perustuselementin korkeudeksi muodostui 1,0 metriä. Järkevä minimiperustussyvyys on noin 1,2 m, jolloin perustus pysyy piilossa mahdollisesta pintamaan painumisesta huolimatta.

7.2 Putkipaaluuperustus

Paaluuperustuksessa käytetään samaa elementtiratkaisua kuin maanvaraisessa perustuksessa sillä erotuksella, että elementistä jätetään laattaosa pois. Paaluuperustuksia suunnitellessa on huomioitava, että paalu ei välttämättä tule juuri haluttuun sijaintiin. Teräsputkipaalun yläpään sallittu sijaintipoiikkeama on ± 80 mm. Elementin kiinnitysratkaisun täytyy olla sellainen, että elementti voidaan asentaa oikeaan asemaan, vaikka paalu poikkeaa aiotusta sijainnistaan. Ratkaisuksi muodostui elementtiin upotettava I-profiilipalkki, joka upotetaan paalun sisään ja valetaan juotosmassalla kiinni (kuva 29). Elementtiin on mitoitettava poikkileikkaukseltaan riittävän pieni palkki, jotta elementille saadaan tarvittava asennusvara.



KUVA 29. Teräsputkipaalun kiinnitettävä hahloelementti

7.3 Seinäelementti

Seinäelementin mittoja mietittäessä tavoitteena on mahdollisimman pitkä ja riittävän korkea elementti. Tämä vähentää elementtien määrää ja sitä kautta perustusten ja asennustyön määrää. Meluseinäelementin kokoa rajoittavia tekijöitä voivat olla elementtitehtaan kaluston aiheuttamat rajoitukset, elementtien kuljetuskaluston kapasiteetti, maantiekuljetusten mittarajat sekä meluseinän perustamiseen liittyvät seikat. Todettiin, että elementin kokoa rajoittavia tekijöitä ovat tässä tapauksessa kuljetuksen kokonaiskorkeus sekä perustuksille tulevat kuormat, jotka määräytyvät suoraan seinän koon mukaan. Seinäelementin mitoiksi muotoutuivat pituus 6,0 m ja maksimikorkeus 4,6 m. Perustussyvyyden ollessa 1,2 metriä 4,6 m korkealla elementillä maan päälle jäävä osa on 3,8 metriä, mikä on elementin melusuojauskorkeus. Melusteiden suunnitte-

luohjeen määritelmän mukaan meluseinä on vähintään kaksi metriä korkea (1, s. 24). Tästä saadaan meluseinäelementin minimikorkeus, joka on 2,8 metriä, jolloin maan päälle jäävän osan korkeus on 2 metriä. Meluseinää rakennettaessa tarvitaan monenkorkuisia seinäelementtejä meluseinälinjan korkeusvaihteluista johtuen. Elementtien korkeudet voivat vaihdella esimerkiksi 400 mm:n välein.

Elementin maksimikorkeus 4,6 m määräytyi Betonimestarit Oy:n seinäelementtejä valmistavan Haapaveden tehtaan käyttämän kuljetuskaluston mukaan. Kuljetuskalustolla voidaan kuljettaa pystyasennossa maksimissaan 4,6 m korkeita elementtejä, jolloin kuljetuksen kokonaiskorkeus ei ylitä viittä metriä. Yli viiden metrin korkuiset kuljetukset ovat kustannuksiltaan kalliimpia, koska ne tarvitsevat erikoiskuljetusten varoitustoimien mukaisen varoitusauton.

Seinäelementin pituudeksi valittiin 6 m. Melusteiden suunnitteluohjeen (1, s. 56) mukaan betonisen meluseinän rungon jännemitta voi olla 4–12 metriä. Perustuksille tulevat kuormat muodostuvat kuitenkin hyvin suuriksi jo yli 6 m:n jännemitalla, jos seinä on korkea (yli 3,5 m). Tämä kasvattaa anturaperustuksilla peruslaatan kokoa, jolloin yhdelle perustukselle kohdistuvat kaivu- ja täyttötööt muodostuvat suuremmiksi tuoden lisäkustannuksia. Paaluperustuksilla suuri omapaino lisää paalun pituutta. Betonimestarit Oy:n seinäelementtejä valmistavalla Haapaveden tehtaalla muottipöydän pituus on noin 12 metriä. Pöydällä on mahdollista valmistaa kaksi 6 m:n pituista elementtiä samaan aikaan.

Seinä pyritään tekemään mahdollisimman ohuena, jotta elementin massa pysyisi mahdollisimman pienenä. **Seinän paksuudeksi** muotoutui raudoitusta mitoittaessa 170 mm. Tällä paksuudella seinän tukialueilla jää betonille riittävästi tilaa raudoitusten väliin.

Elementin siirtämistä varten elementtiin täytyy suunnitella nostoankkurit tai -lenkit tai muu tapa elementin nostamiseen. Nostoankkureita ei ole tässä tapauksessa järkevää käyttää, koska elementin ohuuden vuoksi nostoankkureiden aputeräket eivät mahdu seinän sisälle riittävän betonipiteen alle. Tämän vuoksi täytyisi käyttää ruostumatonta terästä, joka on huomattavasti kalliimpaa kuin tavallinen teräs. Lisäksi nosto-osien ongelma on asennuksen jälkeinen varauskolojen paikkaus, jos ei käytetä ruostumattomia nosto-osia. Näistä syistä elementin nostaminen päätettiin hoitaa elementissä olevien kahden nostoreiän avulla, joista elementti nostetaan nostotangoilla. Nostoreikien huono puoli on se, että elementti kestää huonosti pystyyn nos-

toa (nosto muotista pystyasentoon). Betonimestarit Oy:n elementtitehtailla on pystyyn nousevat muottipöydät, jonka avulla elementti muotteineen nostetaan pystyasentoon ja elementti saadaan nostettua normaalilla nostolla pois muotista.

8 MELUSEINÄRAKENTEIDEN MITOITUSPERIAATTEET

Tässä luvussa on esitetty meluseinärakenteiden mitoituksen periaatteet sekä esitetään maanvaraisen perustuksen geotekninen mitoitus. Mitoituslaskelmat on tehty *by 60 Suunnitteluohje EC2 osa 1-1* mukaisesti Mathcad-laskentasovelluksia käyttäen. Seinäelementin rasitukset ja taipuma katsottiin Lusas-ohjelmalla tehdystä mallista.

8.1 Kuormat

Meluseinään kohdistuvat kuormat katsotaan Tiehallinnon ohjeesta *Tien melusteiden suunnittelu. Luonnos 9.12.2009* tai ne lasketaan *RIL 201-1-2008 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat* mukaan. RIL 201-1-2008:aan on lyhennetty ja tiivistetty eurokoodistandardien EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1993-1-3 ja EN 1991-1-4 sisältöä luettavuuden ja helpomman käsiteltävyyden aikaansaamiseksi (19, s.13).

Meluseiniin kohdistuvia kuormia ovat rakenteen omapaino, tuulikuorma ja aerauslumikuorma. Rakenteen omapaino on pysyvää kuormaa. Omapainon ominaisarvo G_{vk} lasketaan kaavasta 1 rakenteen nimellismittojen ja materiaalin keskimääräisen tiheyden perusteella (19, s. 29).

$$G_{vk} = V\gamma$$

KAAVA 1

V = tilavuus

γ = tilavuuspaino

Tuulikuorma on muuttuvaa kuormaa ja sen arvona voidaan käyttää Tien melusteiden suunnitteluohjeen mukaan arvoa 1 kN/m^2 , jos halutaan välttää tarkemmat laskelmat, tai se voidaan laskea RIL 201-1-2008 mukaisesti (1, s.66). Tässä tapauksessa käytetään tuulikuormalle (tuulen nopeuspaine) suunnitteluohjeen mukaista arvoa 1 kN/m^2 , koska meluseinien mitoitusvaiheessa ei ollut tietoa toteutuvasta maastonmuodosta, esimerkiksi vallien korkeudesta, joiden päälle osa seinistä rakennetaan. Tuulikuorman aiheuttaman vaakakuorman resultantin ominaisarvo Q_{hk} yhdelle seinäelementille lasketaan kaavasta 2.

$$Q_{hk} = q_p h l$$

KAAVA 2

q_p = tuulen nopeuspaine

h = seinän korkeus maanpinnasta

l = seinäelementin pituus

Aurauslumikuorma vaikuttaa meluseinään silloin, kun seinä on alle 7 metrin etäisyydellä tiestä. Aurauslumikuorman suuruus on 15 kN neljän metrin etäisyydellä ja se pienenee aina 2,5 kN etäisyyden kasvaessa yhden metrin. Aurauskuorma vaikuttaa 2 x 2 m:n alueelle, jonka yläreunan korkeus on korkeintaan 2,5 m tien pinnasta. Aurauskuormaa sovelletaan vain murtorajatilatarkasteluissa eikä se vaikuta samanaikaisesti tuulikuorman kanssa. Tässä kohteessa aurauskuorma on korkeintaan yhtä suuri tuulikuorman kanssa, joten laskelmissa rakenteet on mitoitettu vain tuulikuormalle.

Kuormien yhdistäminen tehdään RIL 201-1-2008 mukaisesti. Rakenteellista mitoitusta varten laskentakuormat määritetään murtorajatilassa ja käyttörajatilassa. Meluseinän kuormia ei varsinaisesti voi yhdistää, koska niitä on vain kaksi ja ne vaikuttavat eri suuntiin. Sen sijaan lasketaan pelkästään kuormien mitoitusarvot.

Murtorajatilan muuttuvan kuorman (tuulikuorma) resultantin mitoitusarvo Q_{Ed} lasketaan kaavan 3 mukaan (19, s.38).

$$Q_{Ed} = 1,5 K_{FI} Q_{hk}$$

KAAVA 3

K_{FI} = kuormakerroin, joka määräytyy rakenteen rikkoutumisesta johtuvien seuraamusten vakavuuden mukaan. Mitoituksessa on käytetty arvoa 1,0.

Pysyvän kuorman (omapaino) mitoitusarvo G_{Ed} voidaan laskea kaavasta 4 (19, s.38).

$$G_{Ed} = \left. \begin{matrix} 1,15 K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} G_{vk}$$

KAAVA 4

Kaavassa 4 käytetään kerrointa $1,15K_{FI}$, jos pysyvän kuorman vaikutus on epäedullinen ja kerrointa 0,9, jos vaikutus on edullinen rakenteen kestävyysnäkökulmalta.

Elementtiin tuleva raudoitus mitoitetetaan siten, että mitoittettavan poikkileikkauksen taivutuskestävyys kumoaa poikkileikkausta rasittavan taivutusmomentin. Seinäelementin tukialueelle aiheutuva taivutusrasitus on laskettu meluseinän perustuksen hahlon yläpinnasta 100 mm alaspäin olevaan tasoon. Taivutusrasituksen mitoitusarvo M_{Ed} lasketaan kaavalla 5.

$$M_{Ed} = Q_{Ed} e / l_t$$

KAAVA 5

e = vaakakuorman resultantin etäisyys tuesta

l_t = seinän tukialueiden yhteispituus

Seinäelementtiin kohdistuvat kuormat sijoitettiin Lusas-ohjelmalla tehtyyn malliin, joka laski elementtiin kohdistuvat taivutusrasitukset. Lusas ottaa huomioon myös rasituksen jakaantumisen tukialueella vaaka- ja pystysuunnassa. Lusas-mallista katsottiin kaksi tapausta. Ensimmäinen on normaali tapaus, jossa seinä tukeutuu vain perustuksiin ja taivutusrasitusta tulee vain tukialueille. Toinen tapaus vallitsee talviolosuhteissa, jolloin jäinen maa tukee seinän alareunaa ja taivutusrasitusta kertyy koko seinän matkalle. Liitteessä 1 on esitetty murtorajatilan taivutusmomentin jakautuminen seinäelementissä. 4,6 m korkean seinäelementin taivutusmomenttien maksimiarvot ovat

- noin 60 kNm/m tukialueella pystysuunnassa,
- noin 25 kNm/m tukialueella vaakasuunnassa ja
- noin 10 kNm/m koko seinän alareunan matkalla.

Käyttörajatilassa mitoituskuormat määritetään erikseen pitkä- ja lyhytaikaisille kuormille. Pysyvät kuormat pysyvät sellaisenaan ja muuttuvia kuormia kerrotaan pitkäaikaisyhdistelyssä yhdistelykertoimella ψ . Tuulikuorman pitkäaikaisyhdistelyn kerroin saa arvon 0, joten tuulikuorma häviää kokonaan. Meluseinän mitoitus tehdäänkin vain lyhytaikaisille kuormille, jotka ovat samat kuin aiemmin esitetyt kuormien ominaisarvot. Käyttörajatilan momenttijakautuma seinäelementissä on esitetty liitteessä 1 maksimiarvon ollessa noin 40 kNm/m.

8.2 Käyttöikä

Käyttöikämitoituksen lähtökohtana on, että rakenteelle valitaan suunnittelukäyttöikä ja rasitusluokat. Meluseinät on suunniteltava 50 vuoden käyttöiälle. Meluseinän ympäristön rasitusluokaksi valittiin XD1, johon kuuluvat betonipinnat, jotka ovat kohtalaisen kosteassa ympäristössä ja ovat alttiina ilman sisältämille klorideille. Lisäksi käytettäessä betonin lujuusluokkaa C35/45 ja rakenneluokkaa 1 saadaan näiden avulla *By 60 Suunnitteluohje EC2 osa 1-1* luvun 4 mukaan betonipeitteen nimellispaksuudeksi 30 mm.

8.3 Murtorajatilamitoitus

Murtorajatilatarkastelussa tarkastetaan rakenteen kestävyys murtumisen suhteen. Murtorajatilassa poikkileikkaukselle mitoitetaan tarvittava raudoitus sekä tarkistetaan, että poikkileikkaukseen kohdistuva taivutusrasitus ei ylitä sen taivutuskapasiteettia. Liitteessä 1 esitetyistä seinäelementin taivutusmomenttijakaumista nähdään, että taivutusrasitusta tulee pääasiassa seinän alanurkkiin. Seinäelementistä mitoitetaan elementin alanurkista pysty- ja vaakasuuntaiset metrin levyiset poikkileikkaukset. Elementtiin on päätetty laittaa molempiin pintoihin 4 mm:n teräsverkko 150 mm:n silmäkoolla. Mitoitettu raudoitus ulotetaan sille alueelle, jossa verkon kapasiteetti ei riitä kumoamaan taivutusrasitusta. Seuraavissa kappaleissa esitetään raudoituksen mitoitusperiaatteet *By 60 Suunnitteluohje EC2 osa 1-1* mukaan.

Betonin **materiaaliominaisuuksista** lasketaan raudoituksen mitoitusta varten puristuslujuus (kaava 6) ja vetolujuus (kaava 7).

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c \quad \text{KAAVA 6}$$

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3} \quad \text{KAAVA 7}$$

f_{cd} = betonin puristuslujuuden mitoitusarvo

f_{ctm} = betonin keskimääräinen vetolujuus

α_{cc} = puristuslujuuteen vaikuttavat pitkäaikaistekijät ja kuorman vaikuttamistavasta aiheutuvat tekijät huomioon ottava kerroin

f_{ck} = betonin puristuslujuuden ominaisarvo

γ_c = betonin osavarmuusluku

Betoniteräksen lujuuden mitoitusarvo f_{yd} lasketaan kaavalla 8.

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s \quad \text{KAAVA 8}$$

f_{yk} = teräksen nimellislujuus

γ_s = teräksen osavarmuusluku

Raudoituksen mitoitus

Tarvittavan vetoraidoituksen pinta-alan A_s määrittämiseksi täytyy laskea suhteellinen momentti (kaava 9), puristuspinnan suhteellinen korkeus (kaava 10) ja sisäinen momenttivarsi (kaava 11).

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b d^2 f_{cd}} \quad \text{KAAVA 9}$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} \quad \text{KAAVA 10}$$

$$z = d \left(1 - \frac{\beta}{2} \right) \quad \text{KAAVA 11}$$

μ = suhteellinen momentti

b = rakenteen leveys

d = rakenteen tehollinen korkeus

β = puristuspinnan suhteellinen korkeus

Vetoraidoituksen pinta-ala lasketaan kaavalla 12.

$$A_s \geq \frac{M_{Ed}}{z f_{yd}} \quad \text{KAAVA 12}$$

z = sisäinen momenttivarsi

Raudoituksen vähimmäisalana käytetään arvoa $A_{s, \min}$, joka voidaan laskea kaavasta 13 (20, s. 119).

$$A_{s,min} = 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b d$$

KAAVA 13

Jos minimiraudoitusvaatimus on laskennasta saatua raudoituspinta-alaa suurempi, valitaan rauditus minimiraudoituksen mukaan. Rakenteen taivutuskestävyys lasketaan kaavan 14 mukaan.

$$M_{Rd} = z A_s f_{yd}$$

KAAVA 14

Taivutuskestävyyden tulee olla mitoitusmomenttia M_{Ed} suurempi.

4,6 m korkean elementin mitta- ja raudoituspiirustus ja on esitetty liitteessä 3. Murtotilamitoituksessa elementille saatiin seuraava rauditus:

- tukialueen pystysuuntaan T16 k160,
- tukialueen vaakasuuntaan T8 k140
- tukien väliin seinän alareunaan T8 k330.

Käyttörajatilassa on tarkastettava, ettei sallittu halkeamaleveys ylitä murtorajatilamitoituksessa lasketulla raudoituksella.

8.4 Käyttörajatilamitoitus

Käyttörajatilassa tarkastellaan rakenteen käyttöön ja ulkonäköön vaikuttavat seikat, joita betonissa meluseinärakenteessa ovat rakenteen halkeilu ja taipuminen.

Betonin halkeilu tulee rajoittaa siten, ettei se haittaa rakenteen toimintaa tai säilyvyyttä. Halkeilu ei saa vaikuttaa myöskään rakenteen ulkonäköön tavalla, joka ei ole hyväksyttävä. Halkeamaleveyden raja-arvo w_{max} on 0,3 mm. (20, s. 88–89.) Halkeamaleveys on laskettu Mathcad-laskentasovelluksella. Laskentasovellukseen annetaan lähtötiedoiksi laskettavan poikkileikkauksen mitat, rauditus, raudoitusta suojaavan betonipeitteen paksuus, betonin lujuusluokka, käytetyn betoniteräksen lujuus, käytetyn rakenneluokan mukaiset betonin ja teräksen osavarmuusluvut sekä poikkileikkausta rasittava taivutusmomentti. Maksimikokoisen elementin halkeamaleveydeksi w_k saatiin 0,145 mm murtotilassa mitoitettulla raudoituksella, joka on selvästi pienempi kuin halkeamaleveyden raja-arvo w_{max} .

Halkeamaleveys w_k lasketaan kaavasta 15. (20, s. 92)

$$w_k = s_{r,\max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad \text{KAAVA 15}$$

$s_{r,\max}$ = suurin halkeamaväli

ε_{sm} = keskimääräinen raudoituksessa vaikuttava venymä

ε_{cm} = keskimääräinen betonin venymä halkeamien välillä

Kaavassa 15 esiintyvä kerroin $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ lasketaan kaavasta 16.

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad \text{KAAVA 16}$$

σ_s = vetoraidoituksen jännitys halkeilleella poikkileikkauksella

k_t = kuorman vaikutusajasta riippuva kerroin

$f_{ct,eff}$ = betonin vetolujuus ajankohtana, jolloin halkeamien voidaan odottaa muodostuvan

$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$, missä A_s = vetoraidoituksen pinta-ala ja $A_{c,eff}$ = vetojännityksen alaisen betonin alueen tehollinen pinta-ala

α_e = teräksen ja betonin kimmokertoimien suhde

E_s = teräksen kimmokerroin

Suurin halkeamaväli $S_{r,\max}$ lasketaan kaavasta 17.

$$s_{r,\max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff} \quad \text{KAAVA 17}$$

k_1 = tankojen tartuntaominaisuudet huomioiva kerroin, = 0,8 tangot, joilla hyvä tartunta

k_2 = venymäjakauman huomioiva kerroin, = 0,5 taivutukselle

k_3 = kansallisesti valittava kerroin, Suomessa arvo 3,4

k_4 = kansallisesti valittava kerroin, Suomessa arvo 0,425

Ilman pilareita pystytettävään meluseinään sovelletaan luvussa 5.2.2 esitettyjä poikkeavia laatuvaatimuksia, joiden mukaan elementin **taipuma** saa olla korkeintaan kaavan 18 mukainen.

$$f_{SALLITTU} = L_{TAIPUMA} / 150$$

KAAVA 18

$L_{TAIPUMA}$ = elementin taipumaan pääsevä korkeus

Seinäelementin tukipisteen oletetaan tässä olevan 100 mm perustuksen hahlon sisällä, joten 4,6 m korkean elementin taipumapituudeksi $L_{TAIPUMA}$ muodostuu 4,1 metriä. Tällöin taipuman maksimiarvoksi saadaan kaavalla 18 laskettuna 27,3 mm. Elementin taipuma on katsottu Lusas-ohjelmalla tehdystä mallista. Malliin syötetään materiaalin ominaisuudet ja kuormat sekä tukiehdot, joiden perusteella ohjelma näyttää elementin taipuman. Liitteessä 2 on esitetty elementin taipuma, joka on 16 mm eli elementti ei taivu liikaa.

8.5 Geotekninen mitoitus

Maanvaraisen peruslaatan koko määräytyy geoteknisessä mitoituksessa, joka koostuu maapohjan kantavuustarkastelusta sekä rakenteen vakavuustarkastelusta. Peruslaatan koko mitoitetaan kantavuustarkastelun avulla ja sitä kasvatetaan tarvittaessa vakavuustarkastelun yhteydessä. Vakavuustarkastelussa tarkastetaan rakenteen varmuus kaatumista ja liukumista vastaan ja maapohjan kantavuustarkastelussa varmistetaan maapohjan kantavuus perustukseen kohdistuvien kuormien aiheuttamalle pohjapaineelle. Tässä luvussa on esitetty maapohjan kantavuustarkastelun periaate. Geotekninen mitoitus tehdään ohjeen *RIL 207-2009 Geotekninen suunnittelu* mukaan, joka pohjautuu eurokoodiin EN 1997-1. Peruslaatan ja koko perustuselementin raudoitus mitoitetaan edellä esitettyjen seinäelementin mitoituspäätteiden mukaan. Perustuselementin raudoitus- ja mittapiirustus on liitteessä 4.

Kitkamailla maapohjan kantavuuden ominaisarvo R_k lasketaan kaavasta 19.

$$R_k = A'(q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma)$$

KAAVA 19

A' = anturan tehollinen pinta-ala

q' = yläpuolisten maakerrosten aiheuttama jännitys perustuksen pohjan tasolla

γ' = maan tehokas tilavuuspaino

B' = anturan tehokas leveys vaakakuorman suunnassa

N_q, N_γ = kantavuuskertoimia, joilla otetaan huomioon maan kitkakulma

b_q, b_γ = kertoimia, joilla huomioidaan perustuksen pohjan kaltevuus

s_q, s_γ = perustuksen muodon huomioivia kertoimia

i_q, i_γ = vaakakuorman aiheuttaman kuorman kaltevuuden huomioivia kertoimia

Maapohjan kantavuuteen vaikuttaa suuresti perustustason alapuolisen maan kitkakulma. Tämä huomioidaan kantavuuskertoimilla N_q ja N_γ , jotka voidaan laskea kaavoilla 20 ja 21. Kantavuuskertoimet voidaan myös katsoa taulukosta, jossa on esitetty kertoimien arvoja eri kitkakulmille.

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2 (45^\circ + \varphi' / 2) \quad \text{KAAVA 20}$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \varphi' \quad \text{KAAVA 21}$$

φ' = maan kitkakulma

Pohjan kaltevuuskertoimet b_q ja b_γ saavat molemmat arvon 1, koska perustuksen pohja ei ole kalteva. Kaavojen 22 ja 23 avulla voidaan laskea perustusten muodosta riippuvien kertoimien s_q ja s_γ arvot suorakaiteen muotoiselle perustukselle.

$$s_q = 1 + (B' / L') \sin \varphi' \quad \text{KAAVA 22}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B' / L') \quad \text{KAAVA 23}$$

L' = perustuksen tehokas pituus

Perustusten ollessa kitkamaalla kuormitusresultantin kaltevuudesta riippuvat kertoimet i_q ja i_γ lasketaan kaavoista 24 ja 25.

$$i_q = (1 - H / V)^m \quad \text{KAAVA 24}$$

$$i_\gamma = (1 - H / V)^{m+1} \quad \text{KAAVA 25}$$

H = laskentamenetelmästä riippuen vaakakuorman ominais- tai mitoitusarvo

V = laskentamenetelmästä riippuen pystykuorman ominais- tai mitoitusarvo

$$m = [2 + (B' / L')] / [1 + (B' / L')]$$

Maapohjan kantavuuden mitoitusarvo R_d saadaan kaavan 26 mukaan jakamalla kestävyys ominaisarvo kantokestävyys osavarmuusluvulla.

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_{R,v}} \quad \text{KAAVA 26}$$

$\gamma_{R,v}$ = anturaperustuksen kantavuuden osavarmuusluku

Maapohjan kantavuus on riittävä, jos edellä esitettyjen kaavojen perusteella laskettu maapohjan kantavuus on perustukseen kohdistuvaa pystykuormaa suurempi. Perustuksen tehokas pinta-ala lasketaan kaavalla 27.

$$A' = B' L' \quad \text{KAAVA 27}$$

Meluseinään ei vaikuta seinän pituussuuntaisia vaakakuormia, joten peruslaatan tehokkaana pinta-alueena käytetään sivun koko pituutta. Kuorman epäkeskisyyttä syntyy vain laatan leveyssuunnassa. Perustuksen tehokas leveys B' lasketaan kaavasta 28.

$$B' = B - 2e \quad \text{KAAVA 28}$$

B = peruslaatan leveys

e = kuormituksen epäkeskisyyttä

Kuormituksen epäkeskisyyttä e lasketaan kaavan 29 mukaan.

$$e = M / V \quad \text{KAAVA 29}$$

M = momentti peruslaatan alapinnassa

V = pystykuorma

9 YHTEENVETO

Tämän työn päätarkoituksena oli kehittää Betonimestarit Oy:n tuotantoon soveltuva ratkaisu ilman pilareita pystytettävälle meluseinälle. Työssä käsiteltiin myös betonirakenteisen meluesteen pintakäsittelyvaihtoehtoja ja suhteellisia kustannuksia. Lisäksi tehtiin melukaideselvitys, jossa esiteltiin Liikenneviraston tiekaideuudistuksen tuomat muutokset melukaiteiden käyttöön ja suunnitteluun sekä tehtiin huomioita melukaiteiden ulkonäköseikoista ja asennustyöstä.

Kehitetty meluseinä

Meluseinä kehitettiin betonielementtirakenteisena. Betonirakenteisella meluseinällä on etuna rakenteen hyvä säänkesto ja pitkäikäisyys sekä pintaverhoilun monet mahdollisuudet. Seinän julkisivu voidaan toteuttaa betonin pintakäsittelykeinoilla, esimerkiksi kuvioda graafisella betonilla, tai elementin pintaan voidaan rakentaa erillinen verhoilu esimerkiksi puusta. Jos halutaan puinen meluseinä, voi olla edullisempaa rakentaa seinä betonirakenteisena ja tehdä pintaan puuverhoilu.

Kehitystyön tuloksena syntyi meluseinä, joka runkona toimiva betonielementti pystytetään suoraan perustusten päälle ilman pilareita. Meluseinän pystyttäminen tapahtuu asentamalla seinä perustuselementissä olevaan hahloon. Seinä asennetaan oikeaan asemaansa asennuskiilojen ja korokepalojen avulla, jonka jälkeen hahlo valetaan juotosmassalla umpeen. Perustuselementtiä voidaan käyttää joko maanvaraisena perustuksena tai ilman laattaosaa putkipaaluperustuksessa.

Suunniteltaessa meluseinää kehitetyllä ratkaisulla täytyy perustukset eli maanvaraisen laatan koko ja teräspankkipaalun koko ja pituus mitoittaa tapauskohtaisesti. Samoin on valittava käytettävät seinäelementtien koot vaadittavan melusuojauskorkeuden ja maaston muodon mukaan. Suurilla maaston korkeusvaihteluilla täytyy seinäelementin alareuna porrastaa maaston muodon mukaisesti. Seinäelementin jännemitta on 6 metriä ja maksimikorkeus 4,6 metriä, jolla saavutetaan 1,2 metrin perustussyvytydellä 3,8 metrin melusuojauskorkeus maanpinnasta mitattuna.

Meluseinää kehitettäessä sitä hyödynnettiin samalla kahden todellisen kohteen suunnittelun yhteydessä. Suunnittelutyön edetessä kävi ilmi, että kehitetty meluseinäsystemi on hieman työlämpi suunnittelijan kannalta, jos meluseinälinjassa on jyrkkiä mutkia. Tällöin joudutaan tekemään perustuselementteihin kulmia ja seinäelementteihin viistoja päätyjä, jotta seinälinja saadaan kulkemaan aiottua linjaa pitkin. Samoin jos maastossa on paljon korkeusvaihteluja joudutaan suunnittelemaan useita erilaisia alareunastaan porrastettuja elementtejä.

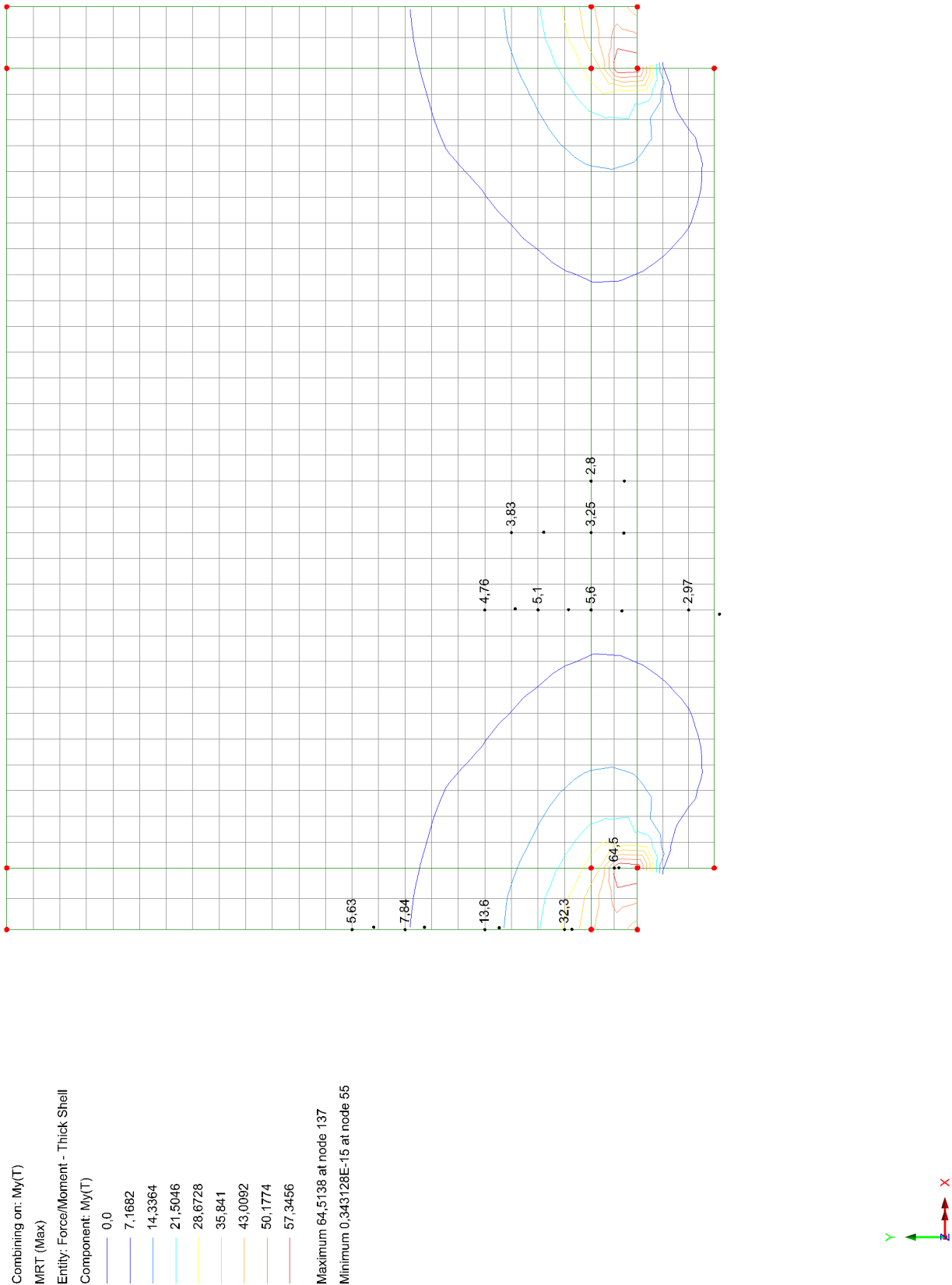
On tilanteita, joissa meluseinä täytyy perustaa suoraan kallion päälle. Kallionvaraista perustamista varten täytyisi kehittää oma perustusratkaisu. Nykyistä maanvaraista perustusta voisi käyttää kallionvaraisena esimerkiksi tekemällä laattaan reiät, joista elementti voidaan ankkuroida kalli-oon.

LÄHTEET

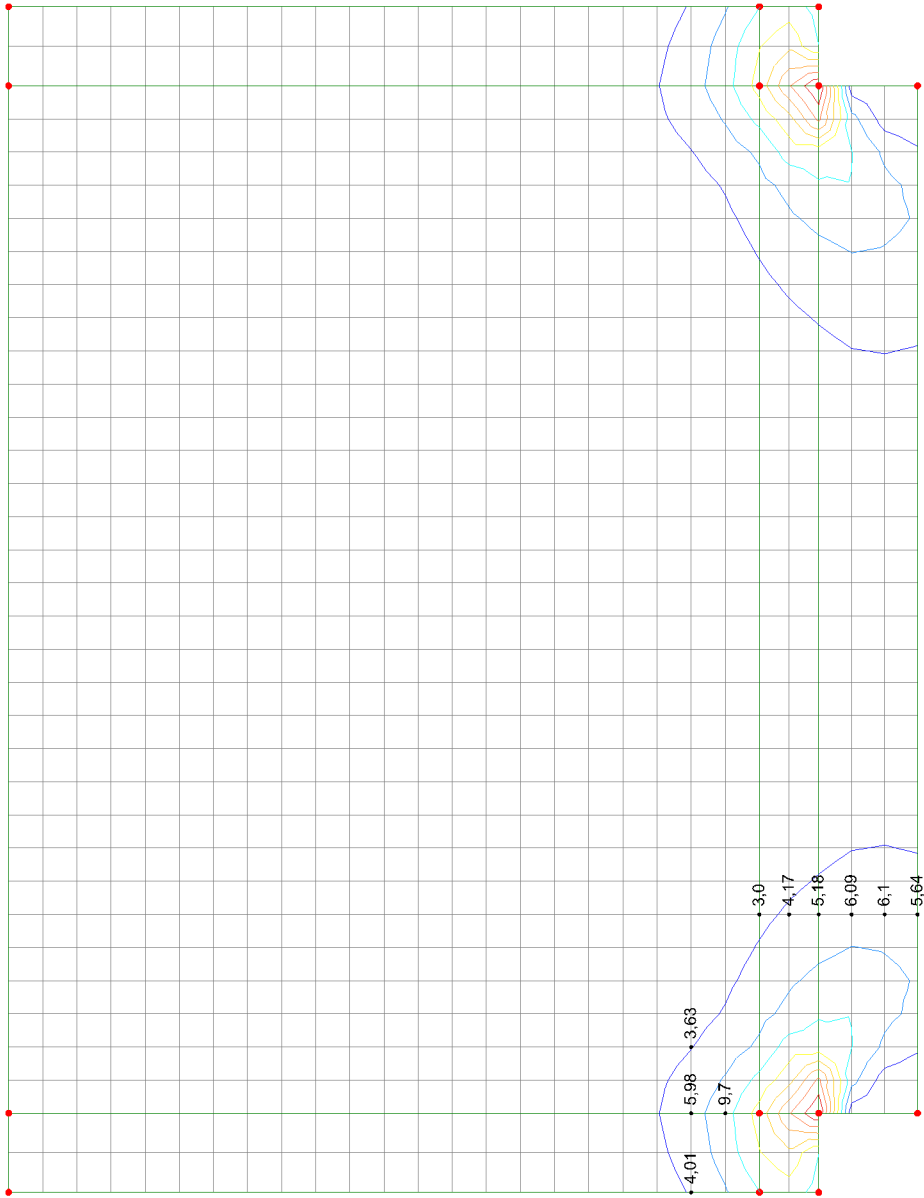
1. Tien melusteiden suunnittelu – Luonnos 9.12.2009. 2009. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Helsinki: Tiehallinto.
2. Tietoa tiensuunnitteluun nro 64A. 2002. Markkinoilla olevia melustetuotteita kesällä 2002. Helsinki: Tiehallinto.
3. Tielaitoksen selvityksiä 67/1995. 1995. Teiden ja siltojen kaiteet. Helsinki: Tielaitos.
4. Päälysteiden suunnittelu. 1997. Helsinki: Tiehallinto.
5. Teiden suunnittelu V. Tiehen kuuluvat laitteet. 1997. 3 Melusteet. Helsinki: Tielaitos.
6. Lehtonen, Kari 2010. Kehittämispäällikkö, Liikennevirasto. Puhelinhaastattelut 12.5.2010 ja 20.8.2010.
7. Rakennustuotteiden CE-merkintä. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Saatavissa: <http://www.sfs.fi/files//ce-cpd.pdf>. Hakupäivä 14.5.2010.
8. Tietoa tiensuunnitteluun 61 b. 2006. Tiekaiteiden laatuvaatimukset ja kaidetyypin valinta. Helsinki: Tiehallinto.
9. Kaituri, Arto 2010. Maisema-arkkitehti, WSP Finland Oy. Keskustelu 12.8.2010.
10. Betonimestarit Oy. 2010.
11. WSP Finland Oy. 2010.
12. Tietoa betonista. Betoni on välttämätön ympäristömme suojelija. 2010. Betonikeskus ry. Saatavissa: <http://betoni.com/fi/Tietoa+betonista/Betoni+ja+kest%C3%A4v%C3%A4+kehitys/K%C3%A4yt%C3%B6+infrarakentamisessa/>. Hakupäivä 24.9.2010.

13. Tietoa betonista. Materiaalin käyttö optimoitu. 2010. Betonikeskus ry. Saatavissa: <http://betoni.com/fi/Tietoa+betonista/Betoni+ja+kest%C3%A4v%C3%A4+kehitys/Valmisosien+k%C3%A4ytt%C3%B6/>. Hakupäivä 24.9.2010.
14. Betonikeskus ry. 2007. Betonijulkisivut. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.
15. Siltojen korjausohjeet, SILKO 1.251. 1998. Betonirakenteet. Betonin suojaaminen. Tiehallinto, siltayksikkö. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/silko/kansio1/s1251a.pdf>. Hakupäivä 19.5.2010.
16. SFS-EN 1794-1. 2003. Teiden meluesteet. Muut kuin akustiset ominaisuudet. Osa 1: Rakennetekniset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
17. Erikoiskuljetukset. 2009. Erikoiskuljetusluvan tarve, hakeminen ja käytännön toimenpiteet. Tiehallinto. Saatavissa: <http://www.tiehallinto.fi/pls/wwwedit/docs/25005.PDF>. Hakupäivä 5.7.2010.
18. Ajoneuvonosturit. 2010. Saatavissa: <http://www.pekkaniska.com/fi/fi/tuotteet-ja-palvelut/ajoneuvonosturit.html>. Hakupäivä 23.7.2010.
19. RIL 201-1-2008. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. 2010. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
20. By 60. Suunnitteluohje EC2, osat 1-1 ja 1-2. 4. korjattu painos, helmikuu 2009. Helsinki: Suomen betoniyhdistys ry.
21. RIL 207-2009. Geotekninen suunnittelu. 2010. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

MRT, Taivutusrasitus seinän pystysuunnassa, seinän korkeus 4600



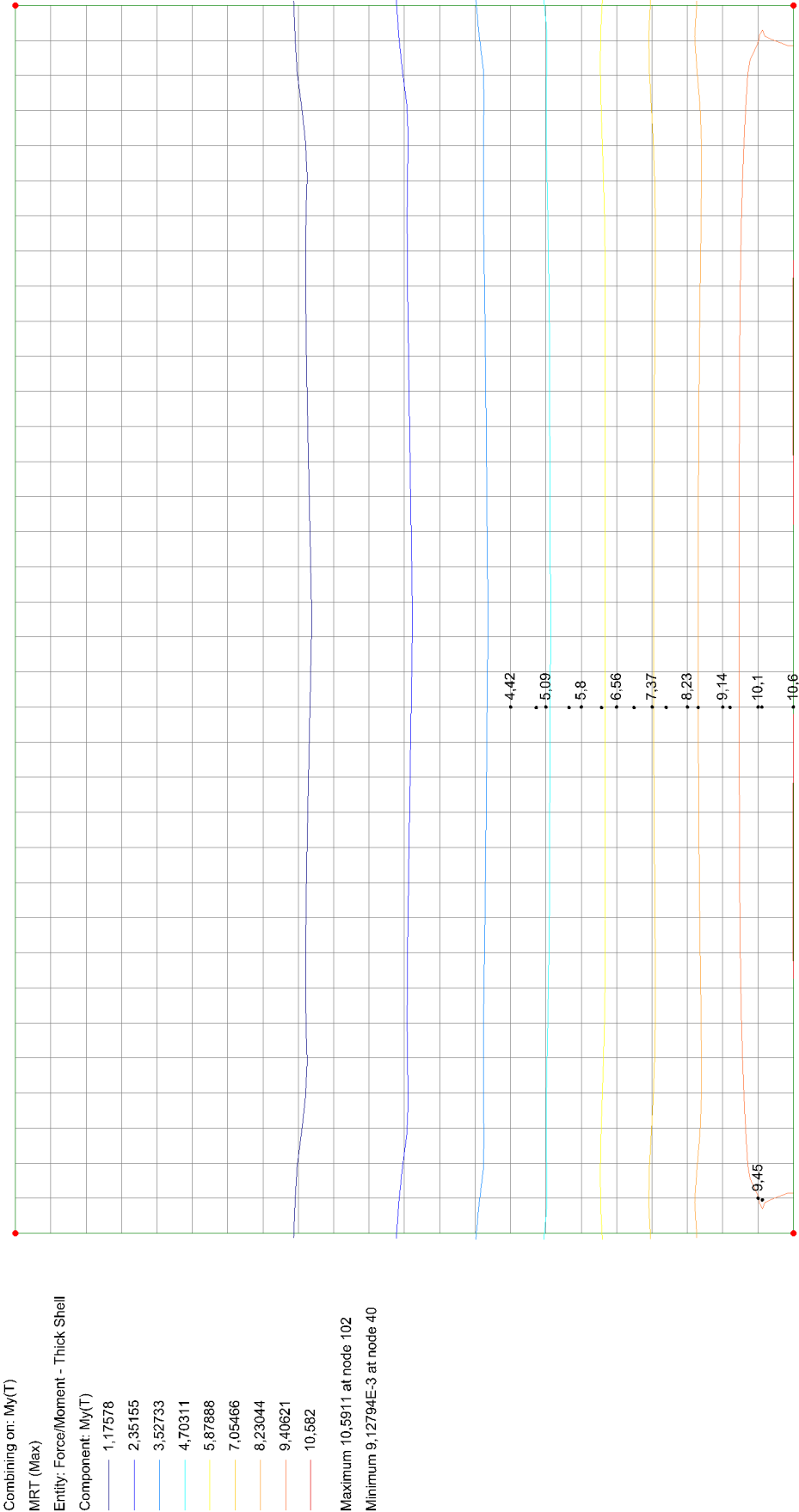
MRT, Taivutusrasitus seinän vaakasuunnassa, seinän korkeus 4600



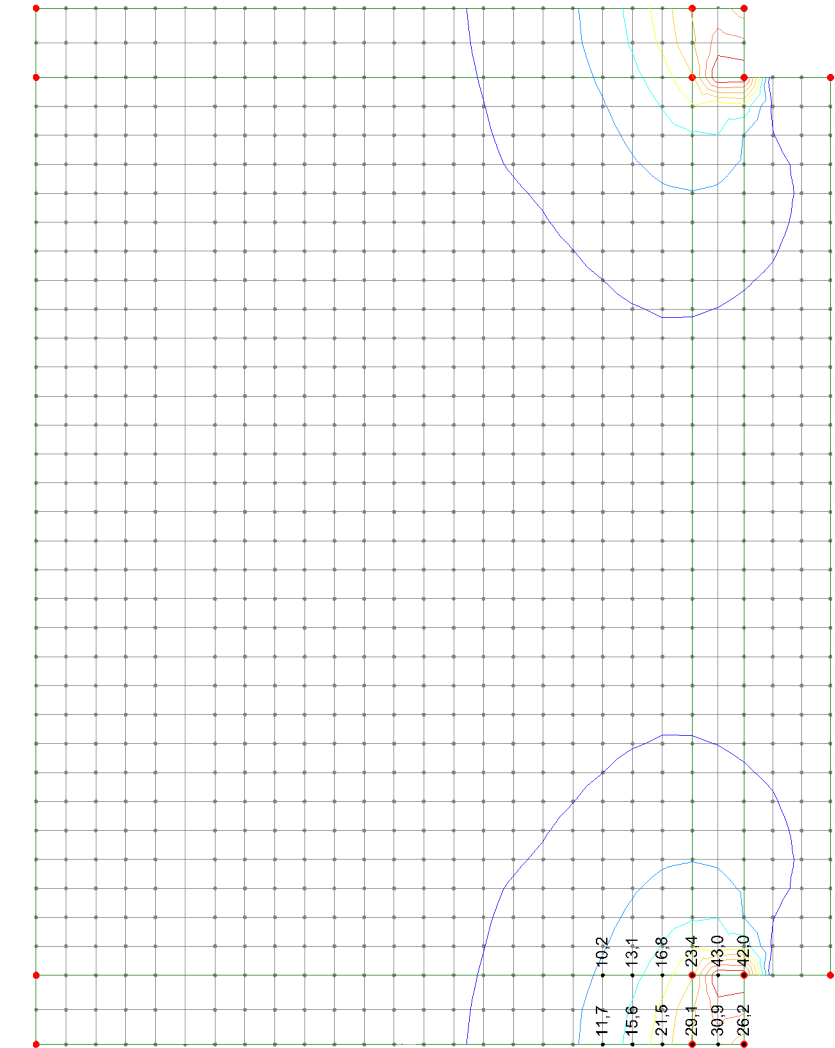
Combining on: Mx(T)
MRT (Max)
Entity: Force/Moment - Thick Shell
Component: Mx(T)
0.0
3.741
7.482
11.223
14.964
18.705
22.446
26.187
29.928
Maximum 33.669 at node 95
Minimum 0.0 at node 467



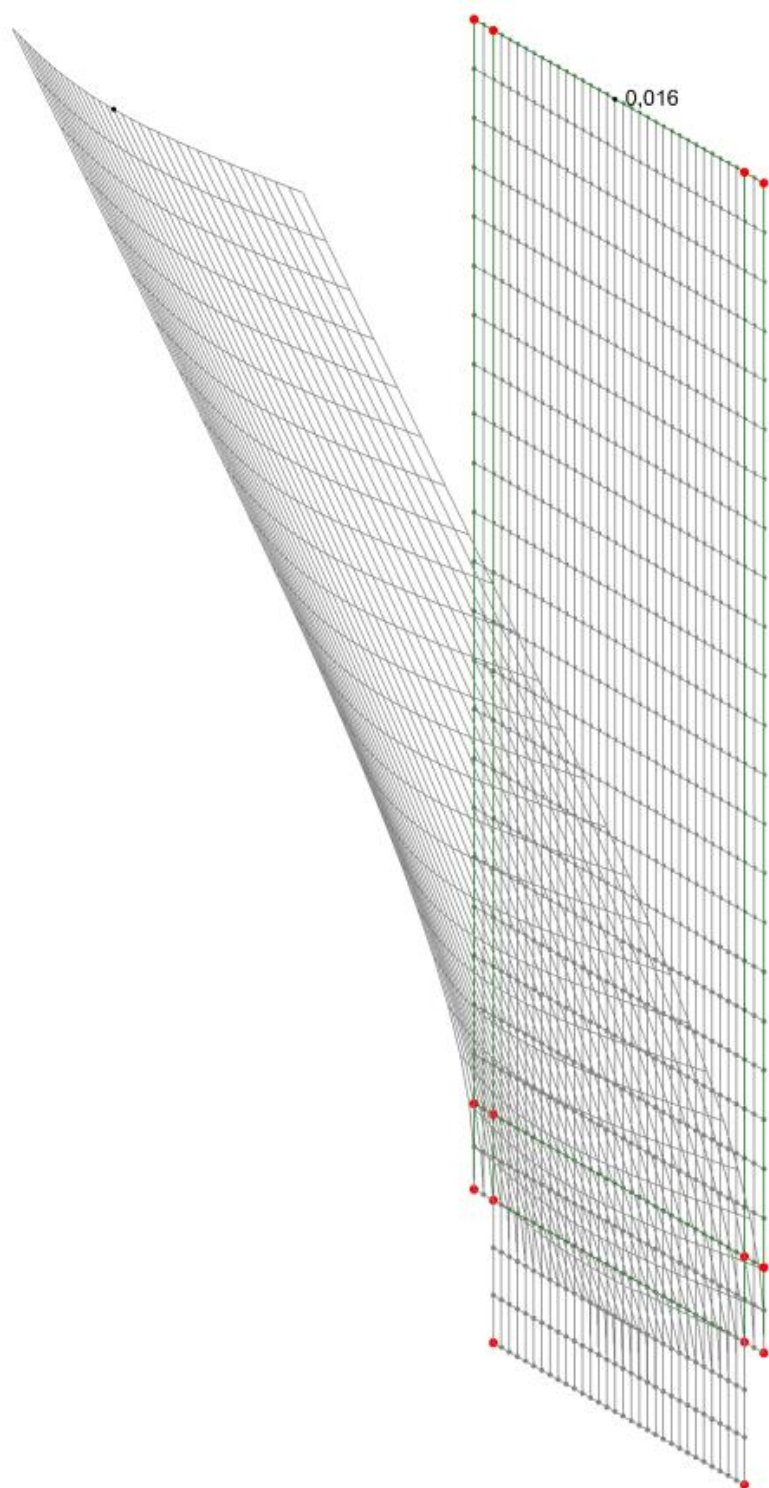
MRT, Maa jäässä, momenttia kertyy koko seinän matkalle, seinän korkeus 4600



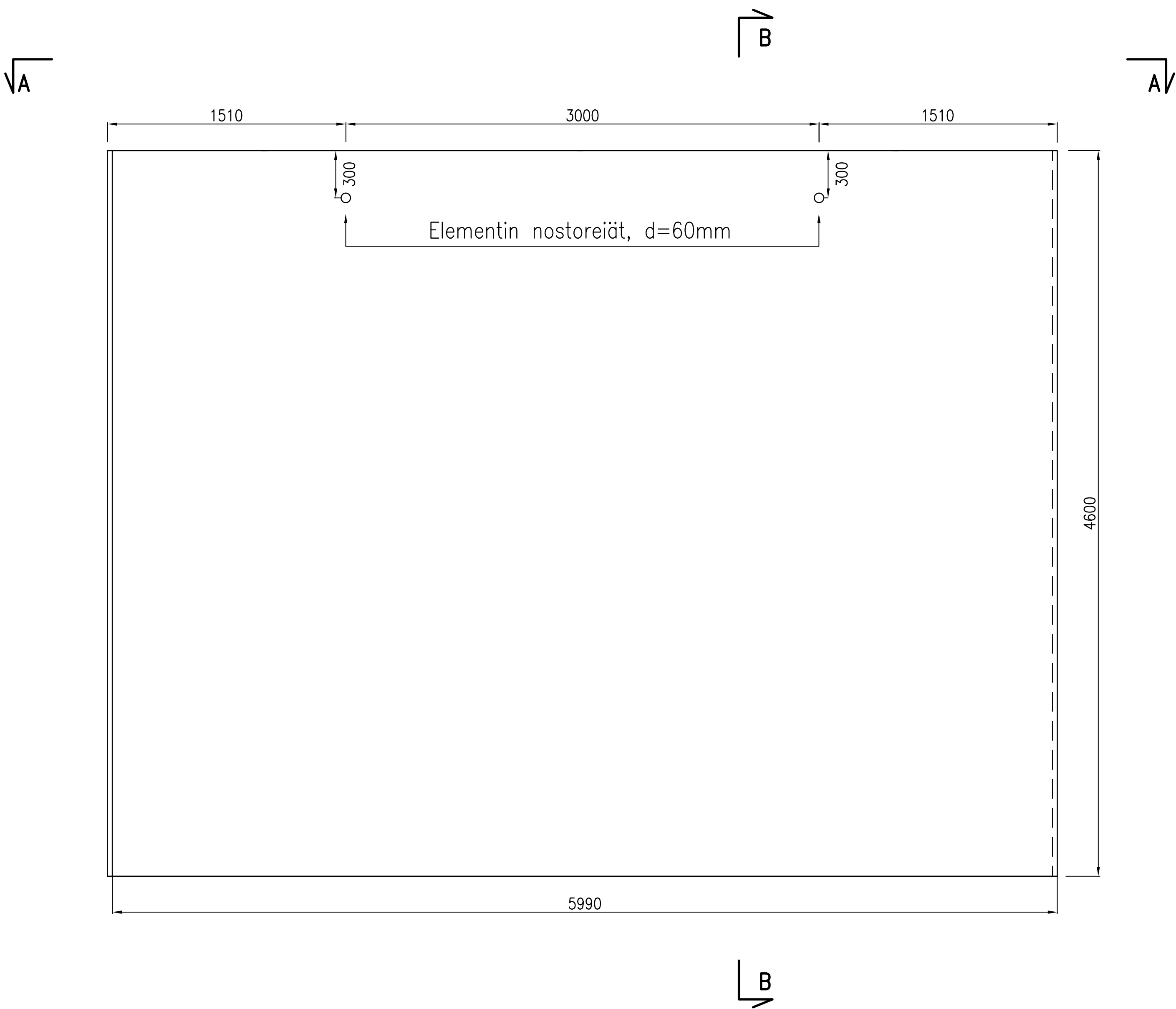
KRT, taivutusrasitus seinän pystysuunnassa, seinän korkeus 4600



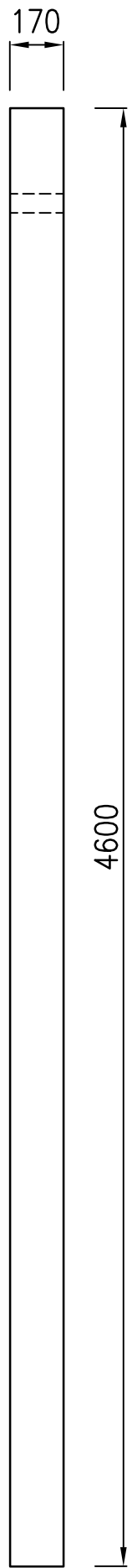
Seinäelementin ($h = 4600$) maksimitaipuma tuulikuormasta: $f_{TUULI} = 16 \text{ mm}$



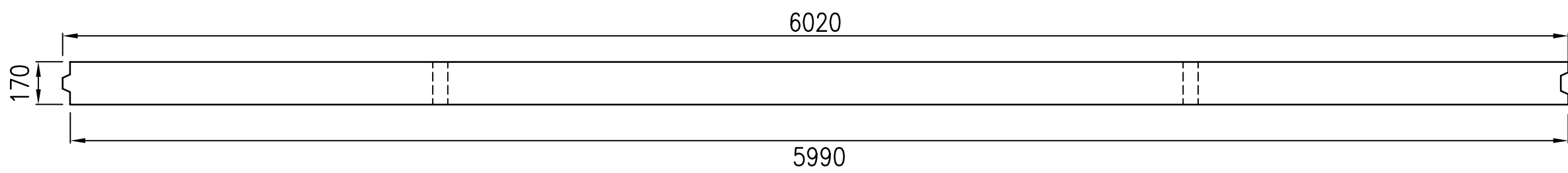
MELUSEINÄELEMENTTI 1:20



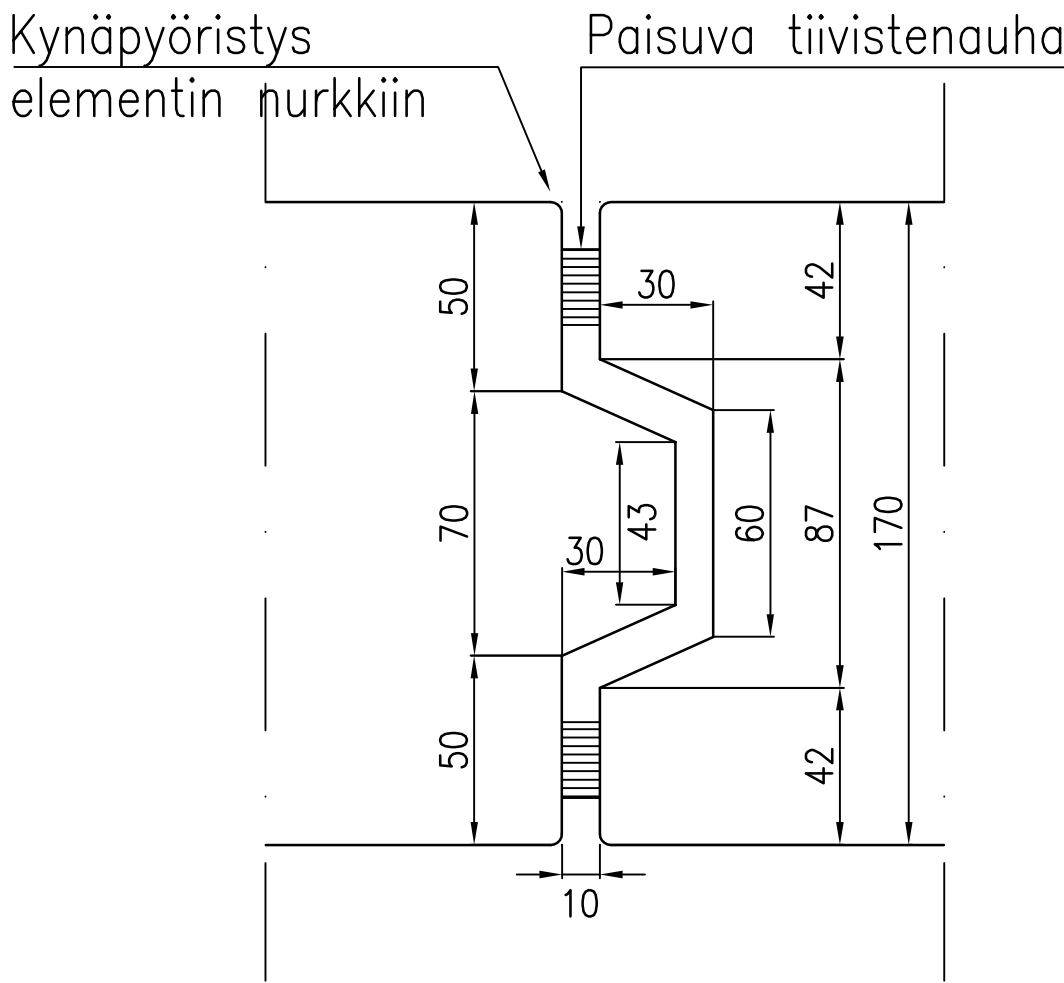
B – B
1:20



A – A
1:20



ELEMENTTIEN LIITOS 1:2



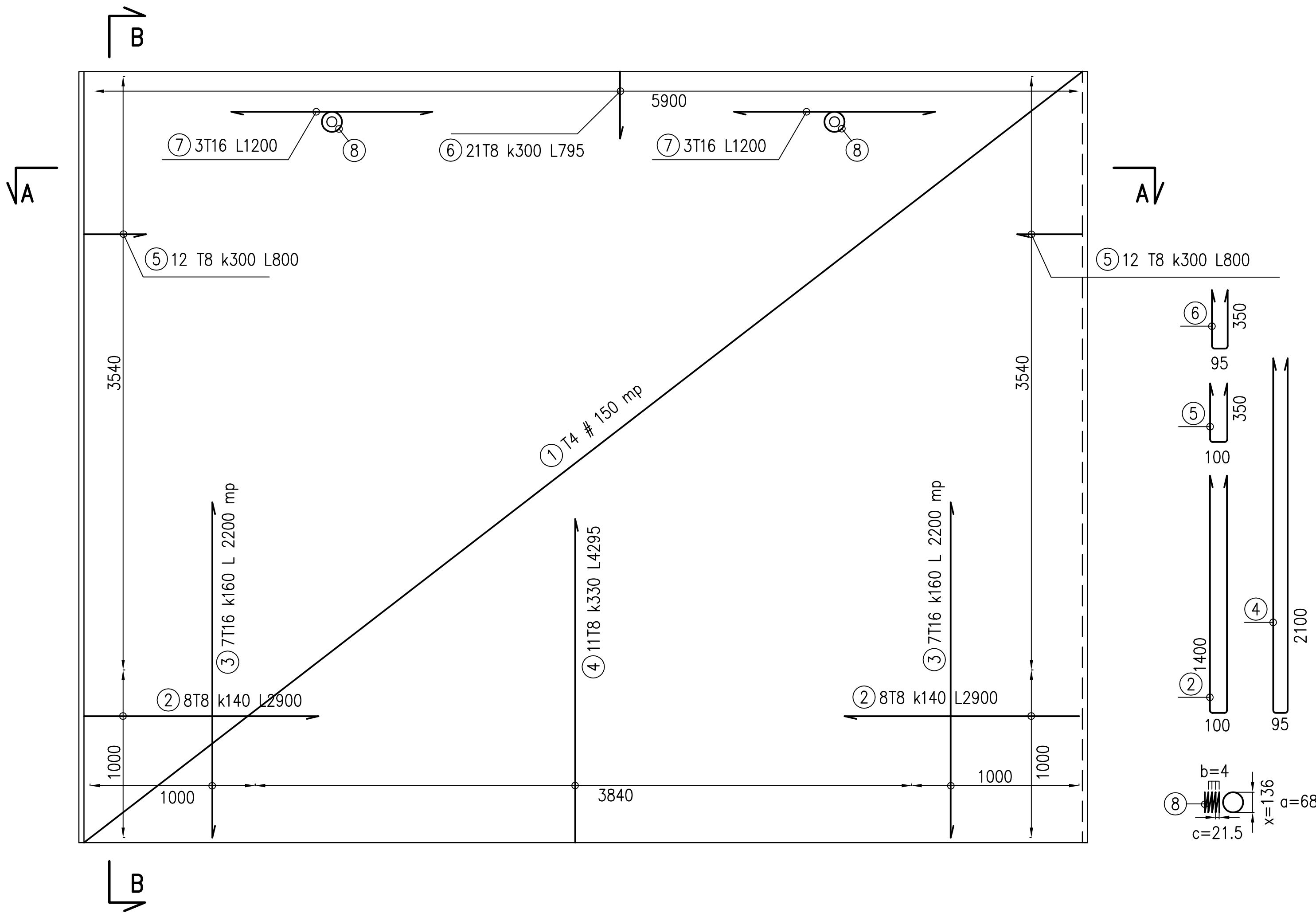
MITTATARKKUUS:	PITUUS +-5 mm
MUOTTIPINTA:	MUUTEN LUOKKA N
BETONI:	LUOKKA 2 (By 40)
TERÄS:	C35/45-1, P30
TERÄSTEN BETONIPEITE:	A500HW
YMPÄRISTÖLUOKKA:	30mm
KÄYTTÖIKÄ:	XD1
	50 VUOTTA
ELEMENTIN NOSTO NOSTOTANGOILLA REI'ISTÄ, NOSTOKULMA 0 ASTETTA	
ELEMENTIN PAINO	118 kN
TILAVUUS	4,7 m³

MERKKI	PVM	MUUTOS	TEHNYT	TARKASTANUT
HANKE	Vt 8 väillä Kotiranta–Stormossen, Vaasa ja Mustasaari			
SILLAN NIMI JA KUNTA	MELUSUOJAUS			
TYYPPI	MELUSEINÄELEMENTTI h = 4600 MITTAPIIRUSTUS			
JM	HL			
KUORMA	Lk I, Ek1/TIEL 99		VINOUS	
WSP Finland Oy Kiviharjunenki 1 D 90220 OULU Puh: 0207 864 12 Fax: 0207 864 800				
Sillansuunnittelu			TARK./HYV.	
PIIRT.	26.9.2010	R. Juntunen		
SUUNN.	26.9.2010	R. Juntunen		
TARK.	XX.2010	X		
Geotekninen suunnittelu			HYV.	
TARK.			GEOTARK.	
MITTAK.	1:2	1:20	PIIR. NRO	R16–xxx

MELUSEINÄELEMENTTI h = 4600 RAUDOITUS

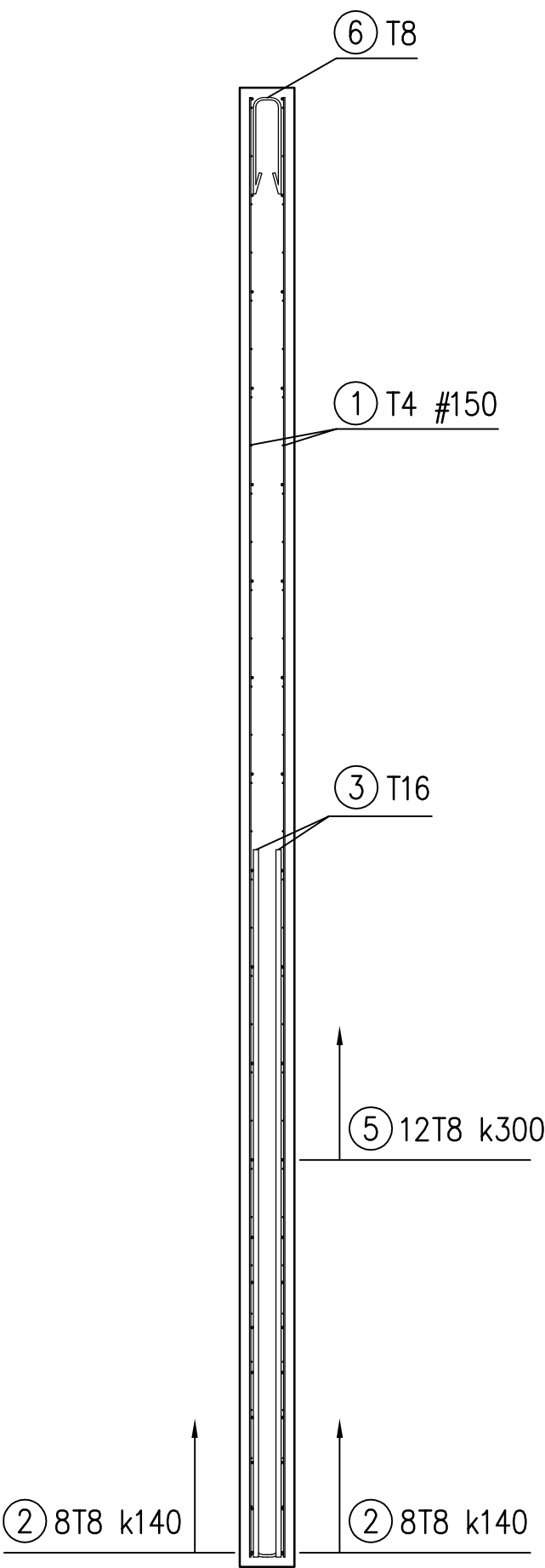
1:20

BETONI: C35/45–1, P30
TERÄS: A500HW
TERÄSTEN BETONIPEITE: 30mm
YMPÄRISTÖLUOKKA: XD1
KÄYTTÖIKÄ: 50 VUOTTA

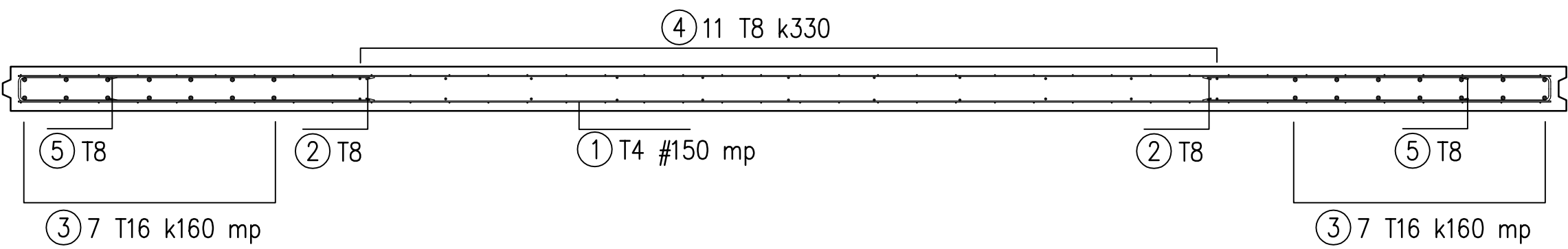


RAUDOITUSLUETTELO										
Tyyppi	Nro	D mm	Kpl	r	a	b	c	x	L (mm)	Yht. kg
verkko	1		2	4#150, mitat 5900mm*4540mm						
d	2	8	16	16	1400	102	1400		2902	18,3
A	3	16	28		2200				2200	97,2
d	4	8	11	16	2100	94	2100		4294	18,6
d	5	8	24	16	350	102	350		802	7,6
d	6	8	21	16	350	94	350		794	6,6
A	7	16	6		1200				1200	11,4
o	8	8	2		68	4	21,5	136,0	1711	1,4
Teräslaatu		A500HW								
D mm	8	16								
Pituus m	133	69								
Paino kg	53	109								
Teräsmenekki kg		232								

B – B
1:20





A – A
1:20

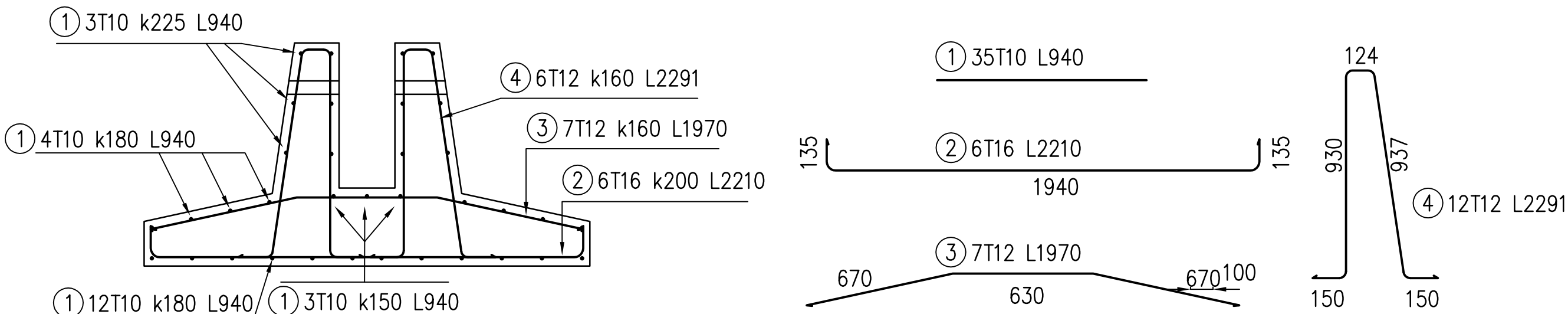
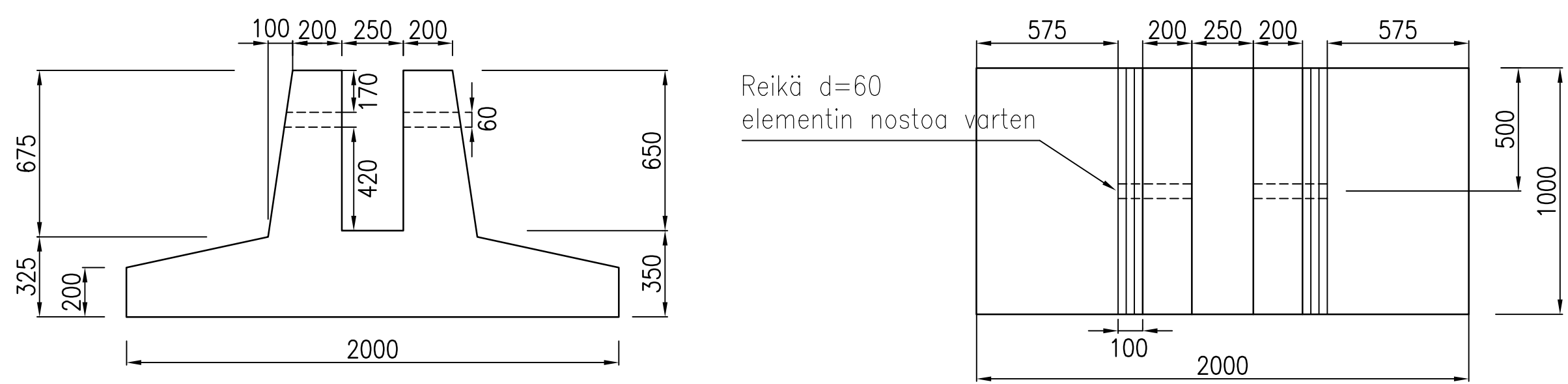


SEINÄELEMENTIN MITTA- JA RAUDOITUSPIIRUSTUS

LIITE3/2

MERKKI	PVM	MUUTOS	TEHNYT	TARKASTANUT
HANKE		Vt 8 välillä Kotiranta–Stormossen, Vaasa ja Mustasaari		
SILLAN NIMI JA KUNTA		MELUSUOJAUS		
TYYPPI		MELUSEINÄELEMENTTI h = 4600 RAUDOITUSPIIRUSTUS		
JM		HL		
KUORMA		Lk I, Ek1/TIEL 99		
		VINOUS		
WSP Finland Oy Kiviharjunenki 1 D 90220 OULU Puh: 0207 864 12 Fax: 0207 864 800		  Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus		
Sillansuunnittelu		TARK./HYV.		
PIIRT. 26.9.2010		R. Juntunen		
SUUNN. 26.9.2010		R. Juntunen		
TARK. X.X.2010		X		
Geotekninen suunnittelu		HYV.		
TARK.		GEOTARK.		
MITTAK. 1:20		PIIR. NRO R16–xx		

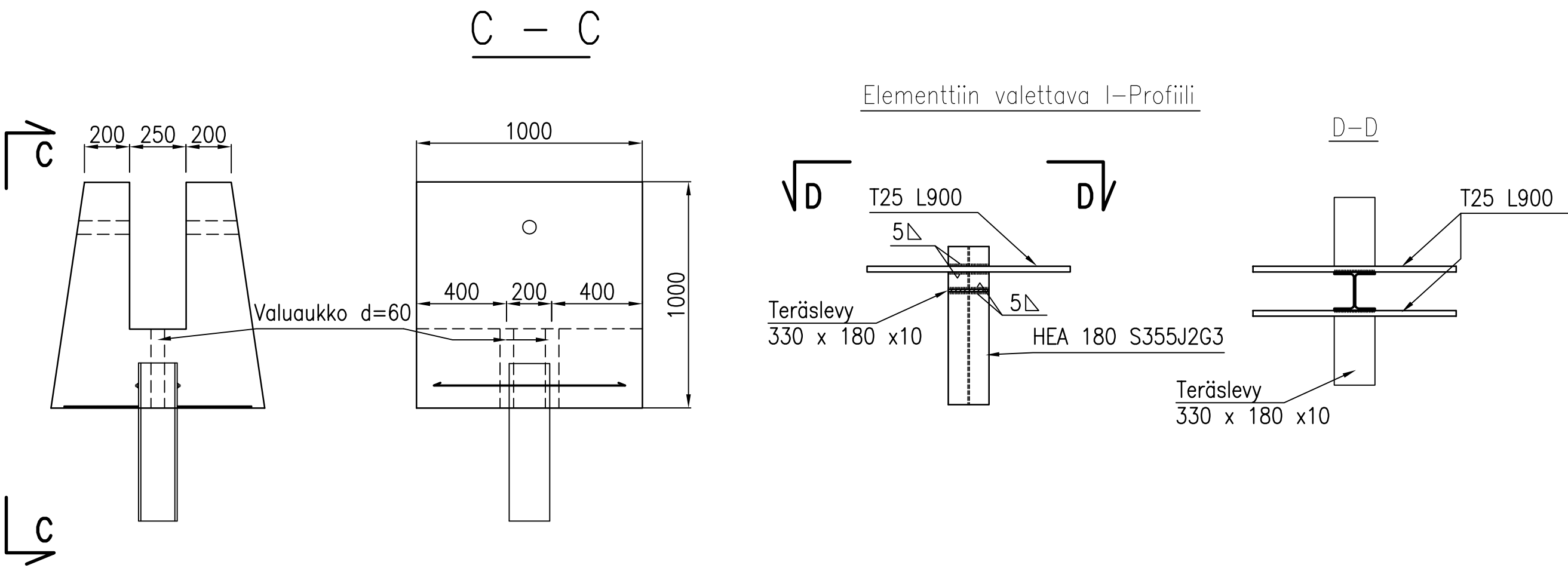
MAANVARAINEN LAATTAPERUSTUS 1:20



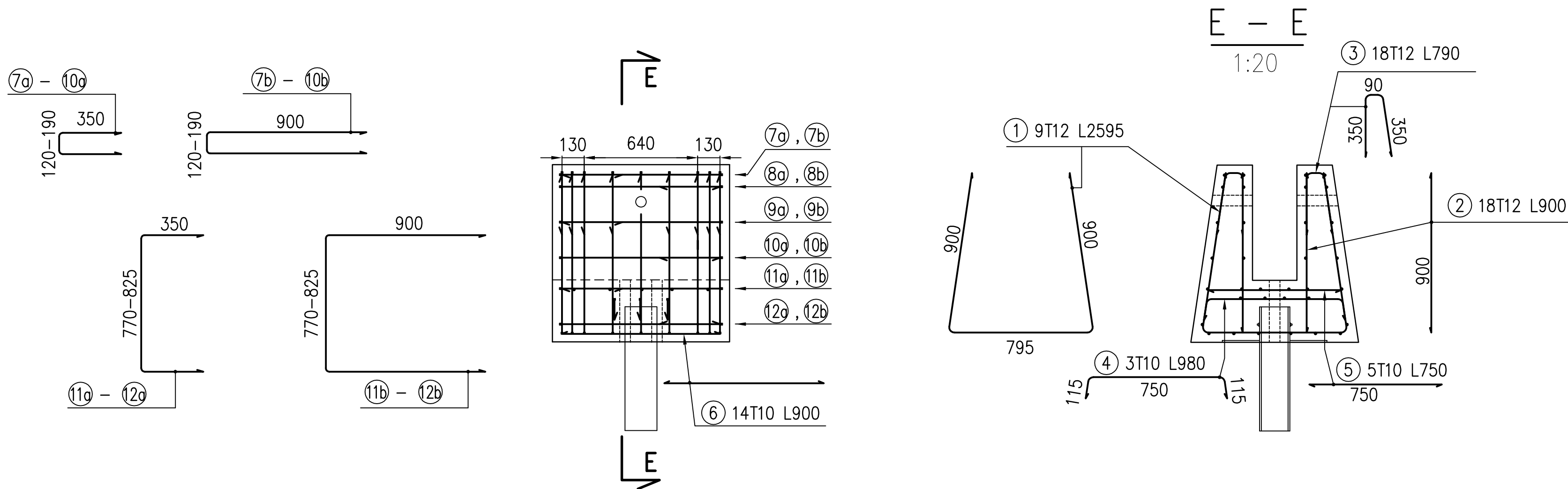
PERUSTUKSEN P1.2 RAUDOITUSLUETTELO																
Tyyppi	Nro	D mm	Kpl	r	a	b	c	d	e	u	v	x	y	L (mm)	Yht. kg	
a	1	10	35		940									940	20.3	
d	2	16	6	40	135	1940	135							2210	20.9	
e	3	12	7	30	670	630	670				12	12	151	1970	12.2	
g	4	12	12	30	150	930	124	937	150		90	82	930	2291	24.4	
Teräslaatu		A500HW														
Teräsmenekki		78		kg												

MITTATARKKUUS: LUOKKA N
BETONI: C30/37–1, P30
TERÄS: betoniteräs A500HW
rakenneteräs S355J2G3
TERÄSTEN BETONIPEITE: 45 mm
YMPÄRISTÖLUOKKA: XD3
KÄYTTÖIKÄ: 50 VUOTTA

PAALUPERUSTUSELEMENTTI 1:20



ELEMENTTIEIN PAINO
MAANVARAINEN LAATTAPERUSTUS 22,8 kN
PAALUPERUSTUSELEMENTTI 16,3 kN



BETONITERÄSLUETTELO																
Tyyppi	Nro	D mm	Kpl	r	a	b	c	d	e	u	v	x	y	L (mm)	Yht. kg	
a	1	10	35		940									940	20.3	
d	2	16	6	40	135	1940	135							2210	20.9	
e	3	12	7	30	670	630	670				12	12	151	1970	12.2	
g	4	12	12	30	150	930	124	937	150		90	82	930	2291	24.4	
Teräslaatu		A500HW														
Teräsmenekki		78		kg												

MERKKI	PVM	MUUTOS	TEHNYT	TARKASTANUT
HANKE	Vt 8 välillä Kotiranta–Stormossen, Vaasa ja Mustasaari			
SILLAN NIMI JA KUNTA	MELUSUOJAUS			
TYYPPI	PERUSTUSTEN MITTA- JA RAUDOITUSPIIRUSTUS			
JM	HL			
KUORMA	Lk I, Ek1/TIEL 99		VINOUS	
WSP Finland Oy Kiviharjunenki 1 D 90220 OULU Puh: 0207 864 12 Fax: 0207 864 800				Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
Sillansuunnittelu		TARK./HYV.		
PIIRT.	26.9.2010	R. Juntunen		
SUUNN.	26.9.2010	R. Juntunen		Sillateknikka, suunnittelu
TARK.	KX.2010	X		TARK.
Geotekninen suunnittelu		HYV.		
TARK.			GEOTARK.	
MITTAK.	1:20	PIIR. NRO		XXXXXX